

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**UNIVERSITE ABOU BAKR BELKAID TLEMCCEN  
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET  
DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS  
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS**

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDE**

Présenté pour l'obtention du  
**Diplôme d'Ingénieur d'Etat**  
Option

**HYDROGEOLOGIE**

Présenté par

**GASMI Abdelhamid & ALLOUANI Ismail**

\_\_\_\_\_ **Thème** \_\_\_\_\_

**CONTRIBUTION A L'ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE LA NAPPE DES GRES  
ALBIENS DE LA REGION DE DJENIEN BOUREZG  
(MONTS DES KSOOR – ATLAS SAHARIEN OCCIDENTAL. ALGERIE)**

\_\_\_\_\_

*Soutenu le, 17 Juin 2014*

*devant le jury composé de:*

<b>M TALEB M K.</b>	<b>Université de Tlemcen</b>	<b>Président</b>
<b>Mme BABA-HAMED K.</b>	<b>Université de Tlemcen</b>	<b>Encadreur</b>
<b>M RAHMANI A.</b>	<b>Hydraulique de Nâama</b>	<b>Co-Encadreur</b>
<b>M BAGHLI A.</b>	<b>Université de Tlemcen</b>	<b>Examineur</b>
<b>M BOUANANI A.</b>	<b>Université de Tlemcen</b>	<b>Examineur</b>

**Année universitaire : 2013-2014**

# DEDICACES

*Ce travail est pour satisfaire la soif d'une femme qui m'a toujours poussé et encouragé  
pour faire de moi une étoile dans le ciel.*

*À ... **ma mère que Dieu la garde pour moi;***

*A **mon père** pour tous ses efforts, pour le bien de notre famille à qui je  
souhaite une longue et joyeuse vie.*

*A mes frères :*

*Abderrahmane, Souleymane, Abdelkader, Ibrahim, Djelloul, Abdelkrim.*

*A mes sœurs*

*A mon Binôme GASMI Abdelhamid*

*A toute la famille ALLOUANI*

*A toute la famille KACEMI*

*A tout la famille BENHABOUD*

*A toute la famille RABOUH*

*A mes oncles et tantes et tous les habitants de DJENIEN BOUREZG.*

*A*

*MOHAMMED Ouadda, LOKMANE, MOUSSA, MNAWER, MERINE Abdelwahab,  
BELHKAIRI Yacine, SLIMANE, MERINE Ismail*

*Et spécialement mes amis : ABDESSALAM, ABOU ABDEDDAYANE, ABOU ABDELKADER,  
MOHAMMED, SEDIK, BENTALEB Ahmed, SAIHI Abderrahmane, JALAL*

*A tous mes amis de l'Université : BENJOUM, HAMZA, BOUDALI, WALID, KHALED,  
ZIANI Amine, YAICHI Abderrazak, ABOU BAKR,*

*A mes camarades de cinquième année géologie promotion 2013/2014*

*A tous mes enseignants qui m'ont aidé et orienté durant mes années d'études*

*A tous ceux que j'estime, et à tous ceux qui me connaissent*

*ISMAIL ALLOUANI*



# DEDICACES

*Avec toute fierté, sincérité, et avec le respect je dédie ce travail :*

*En premier lieu à mes parents (ma très chère mère et mon père) que le Dieu les protège, pour leur encouragements et leur soutien.*

*Mes frères : Hassan, Mustapha, Abdelkader*

*A mes sœurs : Zohra, Fatiha, Cherifa*

*A mes cousins*

*Mes oncles et tantes et tous les habitants de Béchar*

*A Toute la famille « GASMI ».*

*A toute la famille KACEMI*

*A Toute la famille « YAICHE »*

*A mon Binôme ALLOUANI Ismail*

*A Tous mes amis de l'université (Amin-Mouhammed, B-Zakaria-Abdellatif- Belkhir- Mouhammed- Bounoua-Naço).*

*Et spécialement mes amis de Bechar: Baghdadadi-Madjid-Abdelmalek-Rodwan-Hmayna*

*A mes collègues de promotion option (Hydrogéologie-Sédimentologie)*

*A tous mes enseignants qui m'ont aidé et orienté durant mes années d'études*

*A tous ceux que j'estime, et à tous qui me connaît.*

**GASMI ABDELHAMID**



Au terme de ce modeste travail, nous tenons à remercier tout d'abord ALLAH le Tout Puissant, pour tout ce qu'il nous a donné en termes de courage, volonté et patience.

Nous avons le plaisir d'exprimer notre profonde gratitude à **M<sup>me</sup> BABA-HAMED .K** qui a accepté d'encadrer ce travail, nous la remercions également pour avoir consacré son temps en nous faisant profiter pleinement des ses conseils et ses orientations.

Nos vifs remerciements vont également à **M. BENCHOUK M**, pour qui nous avons une grande estime et pour l'honneur qu'il nous fait en acceptant de présider notre jury.

Nos remerciements vont particulièrement à Mrs: **M BAGHLIA** et **M BOUANANI A**, pour avoir accepté de faire partie du jury et nous faire part de leurs critiques.

Il nous est agréable d'adresser nos sincères remerciements à **M RAHMANI.A** qui nous a guidés dans le choix de ce sujet, dans le travail et sur le terrain, pour sa bonté et sa gentillesse.

Nous adressons notre profonde reconnaissance à tout le personnel administratif du Département des Sciences de la Terre ainsi qu'aux enseignants qui ont participé à notre formation.

Que tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'édification de ce mémoire de fin d'études soient remerciés en particulier : **M KACEMI .A**, **M<sup>me</sup> KAZI TANI.S**, **YACINE, M BOUSMAHA**, **M BENHABOUD Ahmed**, **SAMET Ali**, **KIHAL M<sup>ed</sup>**, **AYOUB, M<sup>ed</sup> KACEMI**, sans oublier bien sûr les gens de **DJENIEN BOUREZG** pour leurs aides pendant notre stage sur le terrain.

## Résumé

Notre étude a été réalisée sur la région de Djenien Bourezg, située à 83 km au sud d'Aïn Sefra, Atlas Saharien Occidental.

A partir de l'étude hydrogéologique, la nappe du Crétacé inférieur constitue une bonne exploitation des eaux que cela soit destiné à l'alimentation en eau potable de la région, ou à l'irrigation des terres cultivables. Il nous a paru donc important d'étudier la qualité de ces eaux et leurs faciès chimiques.

Les résultats de la campagne piézométrique indiquent deux sens d'écoulement : le premier, de direction Nord-Est – Sud-Ouest et le second de direction Sud-Est – Nord-Ouest. Ces deux axes confluent et donc un axe principal se dirigeant vers l'ouest de cette nappe.

**Mots-clé :** Djenien Bourezg, Nappe, Albien, Aïn Sefra, Atlas Saharien Occidental, faciès chimiques, , Ecoulement.

## Abstract

Our study was on Djenien Bourezg area, located 83km South of Aïn Sefra – Western Saharan Atlas.

From the hydrogeological study, the water table of the Lower Cretaceous constitutes a good water production, could it be used for this area drinking supply or for the irrigation of the cultivated areas. So, it appeared important to study the quality of this water and its chemical facies.

The results of the piezometric survey indicate two directions of flow: the first is oriented North-East – South-West and the second South-East – North-West. These two axes merge in a principal one going to the West of this water table.

**Key Words:** Djenien Bourezg, Water table, Lower Cretaceous, Aïn Sefra, Western Saharan Atlas, Chemical Facies, Flow.

## **Avant propos**

## **Résumé**

## **Abstract**

<b>Introduction générale.....</b>	<b>03</b>
-----------------------------------	-----------

## **CHAPITRE I – GENERALITES:**

1- CADRE GEOGRAPHIQUE .....	04
1-1. Cadre géographique général de l'Atlas saharien .....	04
1-2. Cadre géographique du secteur d'étude .....	05
I-2.1.Des espaces contrastés : .....	08
I-2.1.1.Un ensemble montagneux .....	08
I-2.1.2.Un espace de plaine relativement plat .....	08
I-2.2. Un réseau hydrographique.....	09

## **CHAPITRE II – GEOLOGIE :**

I-Historique des recherches .....	11
II-APERCU SUR LES GRANDS ENSEMBLES STRUCTURAUX .....	12
III- Cadre géologique des monts des Ksour .....	13
III-1. Série typique des monts des Ksour .....	14
III-1.1 Série triasique .....	14
III-1.1.1. Infra Lias.....	14
III-1.2 Série jurassique .....	15
III-1.3 Passage Jurassique-Crétacé (Région d'Ain Sefra).....	17
III-1.4 Série Crétacée (Région de Tiout et Rhoundjaia).....	18
III-1.4.2- La coupe de Safret El Djir (A.KACEMI, 2005).....	20
III-1.5 Formations post –turoniennes .....	21
III-1.6 Formations quaternaires .....	21

<b>IV-APERÇU STRUCTURAL .....</b>	<b>22</b>
IV.1.Tectonique souple .....	22
IV.2.. Tectonique cassante .....	23
IV.2.. Mobilité et plasticité du Trias .....	23
<b>V- GEOLOGIE DU DJENIEN BOUREZG .....</b>	<b>25</b>
V.1 Stratigraphie du secteur d'étude.....	25
V.2-Etude structurale de la région d'étude.....	26

## **CHAPITRE III-CLIMATOLOGIE**

<b>I-INTRODUCTION.....</b>	<b>28</b>
<b>II-ETUDE DES PRECIPITATIONS.....</b>	<b>28</b>
II-1.Précipitations annuelles.....	28
II-2.coefficient d'irregularité du régime des précipitations.....	29
II-3.Précipitations moyennes mensuelles.....	29
II-4.Précipitations saisonnières.....	30
<b>III-ETUDE DES TEMPERATURES.....</b>	<b>31</b>
III-1.Températures moyennes mensuelles.....	31
<b>IV-ETUDE DU CLIMAT.....</b>	<b>32</b>
IV-1.Méthode de visualisation.....	32
IV-1.1.Courbe pluviométrique.....	32
IV-2.Rapport entre précipitations et températures.....	33
<b>V-INDICES CLIMATIQUES.....</b>	<b>34</b>
V-1.Indice d'aridité de DE MARTONNE.....	34
a) Indice d'aridité annuel de DE MARTONNE.....	34
b) Indice d'aridité mensuel de DE MARTONNE.....	35
<b>V-2.Indice de moral.....</b>	<b>36</b>

a) Indice annuel de MORAL.....	36
b) Indices mensuelles de MORAL.....	36
V-3.Indice climatique d'EMBERGER.....	37
V-4.Indice de continentalité de KERNER.....	38
<b>VI. EVAPORATION ET DEFICIT D'ÉCOULEMENT.....</b>	<b>38</b>
<b>VI.1-Evapotranspiration réelle (ETR).....</b>	<b>39</b>
VI.1.1-Formule de TURC.....	39
VI.2-Evapotranspiration potentielle (ETP).....	39
a) Méthode de THORNTHWAITE.....	39
VI-3.Déficit d'écoulement.....	40
VI-3.1.Méthode de WUNDT.....	40
VI-3.2.Méthode de P.VERDEIL.....	41
<b>VII-BILAN ENERGITIQUE.....</b>	<b>43</b>
VII-1.Détermination des éléments du bilan (1982-2013).....	43
a) Ruisselement.....	43
b) Déficit d'écoulement.....	43
c) Infiltration.....	43
<b>CHAPITRE IV – HYDROGEOLOGIE :</b>	
<b>I - INTRODUCTION .....</b>	<b>45</b>
<b>II - LES UNITES AQUIFERES .....</b>	<b>45</b>
<b>II.1-Nappe du Jurassique .....</b>	<b>45</b>
<b>II .2 - Nappe du Barrémien .....</b>	<b>45</b>
<b>II .3- Nappe albienne .....</b>	<b>45</b>
<b>II .4 - Nappe du Quaternaire .....</b>	<b>46</b>
<b>III - HYDRODYNAMIQUE .....</b>	<b>47</b>

<b>III.1- Piézométrie</b> .....	47
<b>III.1.</b> Unité hydrogéologique de Moghrar .....	47
<b>III.2.</b> Piézométrie du secteur d'étude .....	49
<b>III.3.</b> Interprétation de la carte piézométrique.....	50
<b>III.4.</b> Détermination des caractéristiques hydrodynamiques.....	51
<b>III.4.1.</b> Généralité sur les pompages d'essais .....	51
<b>III.4.1.</b> Essai de courte durée .....	51
<b>III.4.2.</b> Essai de longue durée .....	51
<b>III-4.2.</b> Essai de pompage dans le forage Djenien Bourezg(01).....	52
<b>III.3.1.</b> Essai de pompage de courte durée .....	52
<b>III.3.1.1.</b> Courbe caractéristique .....	52
<b>III.3.1.2.</b> Calcul des débits spécifiques q/s .....	53
<b>III.3.1.3.</b> Droite débits spécifiques / rabattement.....	53
<b>III.3.1.4.</b> Droite débits / rabattements spécifiques .....	54
<b>III.3.1.5.</b> Calcule des pertes de charges .....	55
<b>III.3.2.</b> Essai de nappe.....	55
<b>III.3.2.1.</b> Droite de descente.....	56
<b>III.3.2.2.</b> Droite de la remontée .....	57

## **CHAPITRE V – HYDROCHIMIE :**

I – Introduction .....	58
II - Interprétation des analyses.....	58
II.1-Contrôles des analyses physiques.....	58
II.2- Interprétation des résultats d'analyses .....	59
II.2-1.1.Paramètres organoleptiques.....	59
II.2.2.Paramètres physiques.....	59

II.2.1. Température.....	59
II.2.2. Potentiels d'hydrogène (pH).....	60
II.2.3. Résidu sec.....	60
II.2.4. La conductivité électrique.....	61
II.2.5. La minéralisation globale.....	62
III. Paramètres chimiques.....	64
III.1 Qualité des eaux.....	64
III.1.1 Normes de potabilité .....	64
III.1.2 Dureté Totale TH.....	65
III.2 Aptitude des eaux à l'irrigation .....	66
III.2.1. Sodium adsorption ratio (S.A.R).....	66
III.2.2. Le Pourcentage du sodium (classification de WILCOX).....	67
VI. Representation graphiques des analyses d'eau.....	68
VI.1- Diagramme de SCHOELLER–BERKALOFF.....	68
VI.2- Diagramme de PIPER.....	70
<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>72</b>
<b>RECOMMANDATIONS .....</b>	<b>74</b>

## **ANNEXE**

### **LISTE DES FIGURES**

### **LISTE DES TABLEAUX**

### **LISTE DES ABREVIATIONS**

### **BIBLIOGRAPHIE**

La région étudiée se situe dans une aire aride presque désertique dépendant exclusivement des ressources en eaux souterraines. Les objectifs consistent à définir la dynamique de l'écoulement régional et de donner les estimations qualitatives et quantitatives des paramètres hydrodynamiques des ressources disponibles en eau souterraines pour avoir des idées concrètes de notre hypothèse à définir sur l'alimentation de la plateforme saharienne. Notre travail, consiste en une étude hydrogéologique de la nappe albienne de Djenien Bourezg , il s'articule sur cinq chapitres :

- Tout d'abord, des généralités qui comportent la situation géographique générale des monts des Ksour et locale du secteur d'étude.
- Une étude géologique pour déterminer les formations perméables, qui jouent le rôle de réservoir, et imperméables qui constituent les limites des aquifères.
- Une étude climatique permettant de déterminer le type de climat régnant dans la zone concernée et le déficit hydrique à partir des températures et des précipitations.
- Une étude hydrogéologique dans laquelle seront déterminées les caractéristiques hydrogéologiques (limite d'aquifère, extension de la nappe) et hydrodynamiques (transmissivité, débit ...etc.) de la nappe et précisées la géométrie et la nature des différents horizons aquifères.
- Une étude hydrochimique dans laquelle nous tenterons de donner une idée sur la qualité physico-chimique des eaux, leur potabilité et leur aptitude à l'irrigation..
- Et enfin, une conclusion générale pour synthétiser les résultats trouvés.

## CHAPITRE I : GENERALITE

## I- CADRE GEOGRAPHIQUE

### I-1. Cadre géographique général de l'Atlas Saharien

L'Atlas Saharien situé à 450 Km au Sud d'Oran correspond à une chaîne montagneuse allongée sur une longueur de 1000 Km orientée Sud Ouest-Nord Est.

Cette succession de montagnes forme une barrière naturelle topographique et climatique entre les hautes plaines et les hauts plateaux au Nord et la plate forme saharienne au Sud. L'Atlas saharien est limité au Nord et au Sud par deux accidents tectoniques majeurs qui sont : l'accident nord atlasique et l'accident sud atlasique. Il est subdivisé d'après RITTER (1902) en trois faisceaux atlasiques qui sont d'Est à l'Ouest (fig.1) :

- Les Monts de Ouled Naïl (Atlas saharien oriental).
- Les Djebels Amour (Atlas saharien central).
- Les Monts des Ksour (Atlas saharien occidental).

Les monts des ksour sont situés dans la partie occidentale de l'Atlas saharien à environ 350 Km de la ville de Tlemcen. Ils sont limités par le haut Atlas marocain à l'Ouest et par djebel Amour à l'Est, le Sahara au Sud et les hautes plaines au Nord (fig.1)

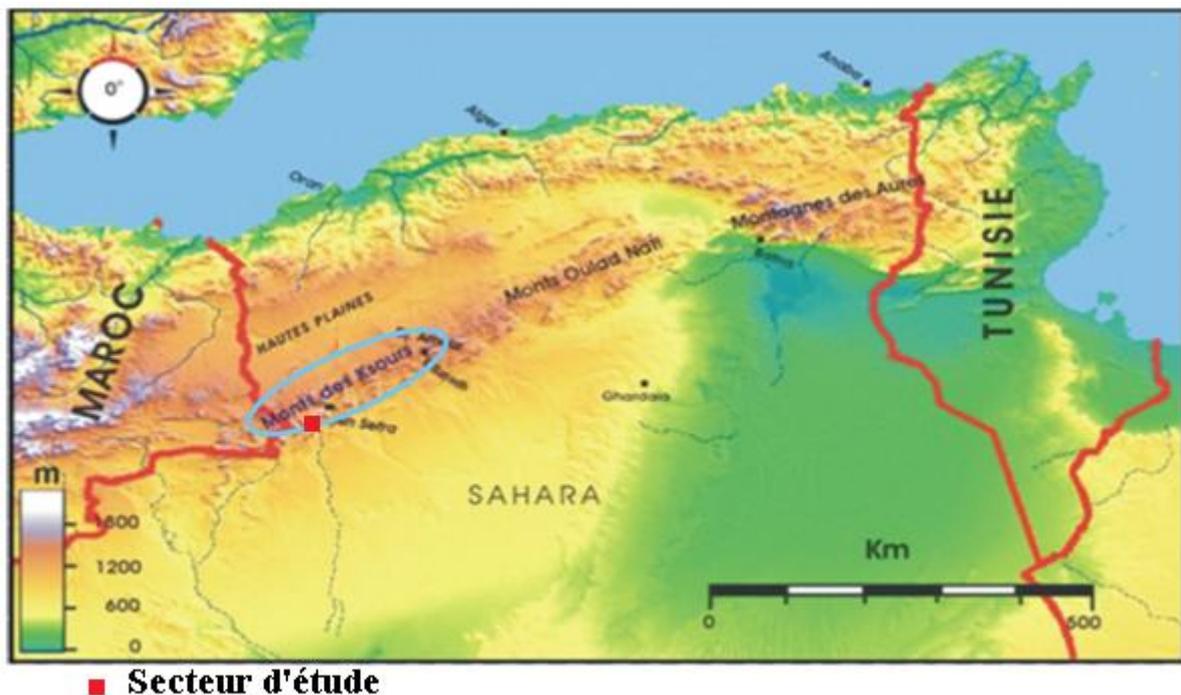


Fig.1 : Situation géographique des Monts des Ksour

Morphologiquement, les Monts des Ksour correspondent à une région montagneuse assez élevée avec certains sommets qui culminent à plus de 2000m d'altitude. On peut citer le Djebel Aissa (2236m), le Djebel M'zi (2187m), le Mir El Djebel (2109m), le Djebel Mekther (2020m), etc. (Fig. 2).





### **I-2.1. Des espaces contrastés**

Le secteur d'étude est situé sur le versant sud de l'extrémité occidentale de l'Atlas saharien matérialisé par les Monts de Ksour représenté localement au centre de la région par Djebel Mzi qui culmine à 2187 m ;

Le territoire du secteur d'étude présente tous les caractères physiques des espaces spécifiques des hautes plaines, Du point de vue géomorphologique, cet espace contrasté peut être subdivisé en deux entités morphologiques distinctes :

#### **I-2.1.1. Un ensemble montagneux, rocaillieux et dénudé :**

Partie intégrante des Monts des Ksour de direction SW-NE, il occupe 65% du territoire de la région, il s'agit, en fait de deux ensembles faisant partie intégrante de l'Atlas saharien:

- Le premier culmine à Djebel Mzi à une altitude de 2187m. C'est un massif important occupant toute la partie nord de la région et est caractérisé par un réseau hydrographique très dense à écoulement intermittent, la relative faiblesse de la couverture végétale en certains endroits favorise dans une large mesure les phénomènes d'érosion. Cet ensemble montagneux est constitué par une série de Djebels de direction Est Ouest, il s'agit des Djebels El Kahil (1057 m), El Mahrem (1386m) et El Ktef.
- Le deuxième, formé par Djebel Bou Amoud, culminant à 1484 m à l'extrême sud de la région.

#### **I-2.1.2. Un espace de plaine relativement plat**

Il est constitué par un ensemble de hautes plaines occupées par des parcours dégradés à très dégradés. On y distingue là aussi deux sous ensembles :

- Le premier est localisé entre les deux massifs montagneux où sont pratiquement implantés tous les établissements humains de la région à savoir Chef Lieu Djenien Bourezg, Hadjret El Meguil et le hameau de Dermel, l'activité agricole de cette région y est aussi concentrée. Au niveau de cette espace, le Chef Lieu est situé à 1012 m d'altitude alors que Hadjret El Meguil est à 919 m.
- Le deuxième sous ensemble occupe l'extrémité Nord Est de Djenien Bourezg au-delà du djebel Mzi. Il s'agit de la plaine de Rekani dont le point le plus bas est à 1055 m.

### **I-2.2. Un réseau hydrographique très dense sous exploité**

La morphologie du secteur d'étude (ensemble montagneux et de hautes plaines) a favorisé la mise en place d'un réseau hydrographique très dense (fig.4) à écoulement intermittent compte tenu de la faiblesse de la pluviométrie. Une partie des affluents de ce réseau (oueds Founassa, Tiraine, Taleb Ahmed, El Mizab et Tachatouft) rejoint à partir des lignes de crêtes

des djebel Mzi et Bou Amoud le principal cours d'eau de cette région à savoir: Oued R'mel avec un sens d'écoulement Sud Est-Nord Ouest.

Tout ce chevelu d'Oueds et de bras d'Oueds convergent dans leur majorité au niveau d'Oued Rhuiba à la limite sud de la région qui se perd dans les sables du grand Erg occidental. Il est à noter aussi que la plaine de Rekani est drainée par un réseau relativement dense d'oueds et de Chàabets dont les plus importants sont oued Ich et oued El Mkheisser au niveau de sa partie centrale et oued Rhazrat dans sa partie Nord Est (B. BAGHDADI, 2007).

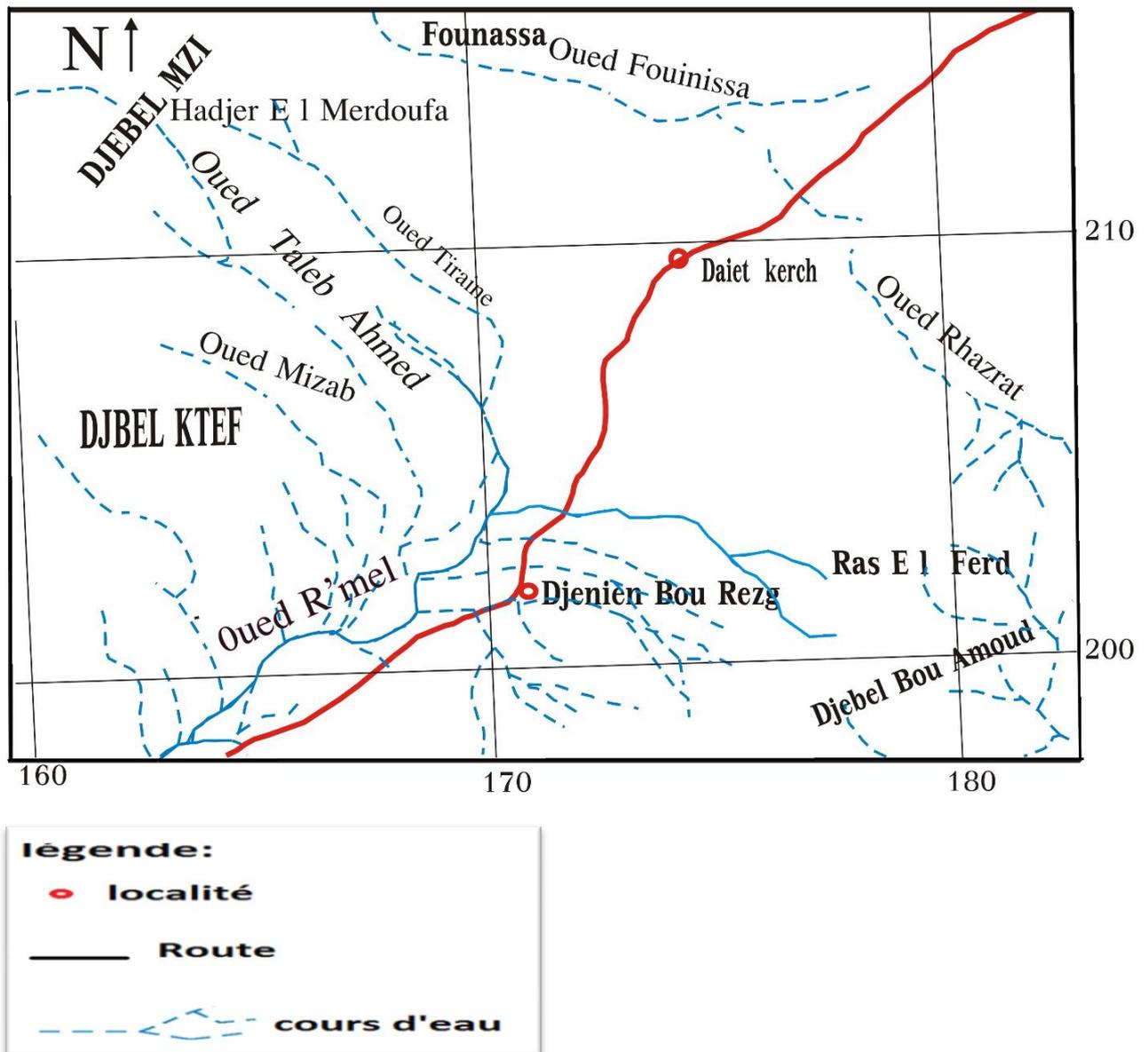


Fig.04: Réseau Hydrographique du secteur d'étude  
(Extrait de la carte topographique au 1/250.000).

## CHAPITRE II : GEOLOGIE

## **I- HISTORIQUE DES RECHERCHES :**

Les premiers travaux dans l'Atlas saharien remontent à la période (1874-1883) dans laquelle POUYANNE et PERON ont pu reconnaître l'existence des dépôts crétacés dans la région de Tiout près d'Ain Sefra.

- En 1890, WELSH travailla dans le Djebel Mellah de Méchria et en se basant sur l'association de la faune d'El Horchaia, il identifia le Jurassique moyen dans les dépôts rapportés ultérieurement au Lias.
- L'œuvre de FLAMAND (1911) sur le haut pays de l'Oranie et le Sahara a servi de bases pour toutes les recherches récentes. L'auteur leva plusieurs cartes géologiques aux 1/200000, 1/500000 et au 1/800000 et réalisa une volumineuse et importante thèse sur l'Atlas saharien.
- En 1947, CORNET donna une synthèse stratigraphique et une analyse tectonique, il apporta d'intéressantes modifications à l'échelle stratigraphique donnée par FLAMAND.
- En 1952, à l'association du congrès géologique international d'Alger, apparaît la carte géologique de l'Algérie au 1/500000.
- En 1953, CORNET, GALMIER et LUCAS étudient la série de Raha Zerga (secteur d'Ain Ben Khelil). ils rapportent les terrains d'âge cénomanien de FLAMAND au Jurassique inférieur. Dans la même année, GALMIER effectua des travaux sur l'accident nord atlasique, il montra que cet accident est en réalité un déversement vers le Nord- Ouest exagéré jusqu'à un véritable chevauchement.
- En 1965, LASNIER réalisa une première étude stratigraphique micropaléontologique des hautes plaines algériennes: Ain Sefra, Mechria, Djebel Nador et Hodna.
- En 1966, BASSOULET donna une première description de la coupe du Djebel Chemarikh (région d'Ain sefra ) et découvre un niveau à Astéroceras qui lui permettra l'identification du Lotharingien (Sinémurien supérieur).
- En 1967, le Djebel Kardacha fait l'objet d'une étude structurale par LUCAS et GALMIER. Dans la même année, BASSOULET découvra des dinosauriens, des crocodiliens et des poissons dans l'oued de Boudjihane et Abiodh Sidi Chikh .
- En 1968, BASSOULET décrit une succession liasique du Djebel Hafid.
- En 1970, GALMIER réalisa neuf cartes photos géologiques au 1/100000 qui donnent une vue d'ensemble sur la géologie et la tectonique des monts des ksour.

- En 1973, BASSOULET présente son travail fondamental sur le Mésozoïque des monts des Ksour, il établit une subdivision en quatre principaux ensembles lithostratigraphiques qui sont en liaison avec l'évolution sédimentaire du bassin.
- En 1976, DOUIHASNI présente sa thèse de 3<sup>ème</sup> cycle, il complète la partie stratigraphique de BASSOULET et donne une importante analyse structurale sur les monts des Ksour basée sur le levé des cartes au 1/500000. Il définit la formation de Chemarikh et en donne une description succincte.
- ELMI (1978, 1982,1986), souligne les différences de l'évolution géodynamique entre les domaines atlasique (Monts des Ksour), pré-atlasique (Nador et Tiaret) et tlemcenien (Monts de Ghar Roubane), il établit une polarité du Sud vers la Nord avec une couverture plus précoce du sillon atlasique.
- En 1986, KAZI TANI présente une synthèse de l'évolution géodynamique de la bordure nord africaine. Se basant sur une approche méga séquentielle, il distingue deux groupes :
  - Groupe éo-alpin inférieur,
  - Groupe éo-alpin médian.
- En 1991, un important travail fut mené par AIT OUALI, il concerne le rafting des Monts des Ksour et la diagénèse des assises carbonatées du Lias.
- En 1998, MEKAHLI dans sa thèse de doctorat d'état présente une étude sur l'Hettangien – Bajocien supérieur des Monts des Ksour : bio stratigraphie, sédimentologie, évolution paléontologique et stratigraphie séquentielle
- Dans la même année, VIALLY utilise les données de la recherche pétrolière pour définir le style structural de l'avant pays alpin d'Algérie.
- En 2005, KACEMI pour arriver à étudier l'évolution du delta des ksour du Jurassique moyen au Crétacé présenta la lithostratigraphie et la sédimentologie de ces formations.

## **II.APERCU SUR LES GRANDS ENSEMBLES STRUCTURAUX**

L'Algérie comprend quatre grands ensembles structuraux :

- l'Atlas tellien, constitué de reliefs et de plaines littorales.
- les hauts plateaux et les hautes plaines.
- l'Atlas saharien formant une longue suite de reliefs orientés Nord Est – Sud Ouest.
- la plate-forme saharienne.

Ces domaines sont divisés en deux unités tectoniques majeures séparés par la faille sud atlasique. Les trois premiers domaines portent l'empreinte de la tectonique alpine. C'est le domaine de la Berbérie (BUSSON, 1989) limité au Sud par la flexure sud atlasique. La plate-forme saharienne, relativement stable, où la tectonique est moins prononcée, appartient au craton africain. Elle est caractérisée, en général, par des régions plates.

L'Algérie septentrionale appartenant au domaine alpin est constituée de reliefs jeunes modelés au cours du Tertiaire. Il est composé des ensembles structuro-sédimentaires suivants, du Nord au Sud:

- L'Atlas tellien est le domaine des nappes mises en place au Miocène inférieur, avec des bassins de type intramontagneux (bassin du Chéelif), dont la série sédimentaire s'étend du Jurassique au Miocène.
- Les hauts plateaux, avant-pays alpin, à couverture sédimentaire réduite, où les processus locaux de distension ont permis la formation de bassins intramontagneux comme ceux de Telagh et de Tiaret.
- Au Sud, l'Atlas saharien est né d'un long sillon subsidien compris entre les hauts plateaux et la plate-forme saharienne. Au Mésozoïque, ce sillon fut comblé par une puissante série sédimentaire (7000 à 9000m.). Durant le Tertiaire, une tectonique compressive réactive les structures extensives antérieures en failles et structures inverses aboutissant à la formation de cette chaîne montagneuse.
- La plate-forme saharienne : Elle est située au Sud de l'Algérie alpine et appartient au craton nord africain. Elle comprend un socle précambrien sur lequel repose en discordance une puissante couverture sédimentaire, structurée au Paléozoïque en plusieurs bassins sédimentaires. Ces derniers sont délimités par différents éléments tectoniques et dans lesquels la lithostratigraphie est plus ou moins complète.

### **III.CADRE GEOLOGIQUE DES MONTS DES KSOUR:**

L'Atlas saharien occidental, chaîne intracratonique plissée, lors de l'orogénèse alpine, est séparé des hautes plaines oranaises au Nord par l'accident nord atlasique, de la plate forme saharienne au Sud par l'accident sud atlasique. Il se poursuit à l'Ouest par le haut atlas marocain et à l'Est par l'atlas saharien central et oriental.

La série stratigraphique de la région d'Ain Sefra s'étale de terrains allant du Jurassique au Quaternaire.

L'allure en échelon, la configuration des anticlinaux allongés, coffrés à flancs redressés, déversés, d'axe sensiblement parallèle à la direction de la chaîne et les synclinaux perchés à fond large représentent le style atlasique qui caractérise le niveau structural moyen (domaine des plis isopaques).

La phase majeure qui a structuré l'édifice atlasique a engendré des plis isopaques de direction SW-NE (DOUIHASNI, 1976). Les plis ont tendance à être d'éjectés vers le SE. Cette phase atlasique est datée fin Lutétien-Priabonien (COIFFAIT et al, 1984).

### **III.1. Série type des monts des ksour**

Dans les monts des Ksour les majeures parties des affleurements appartiennent aux formations mésozoïques. A l'intérieur de l'Atlas, les sédiments cénozoïques sont localisés dans les dépressions et représentés par le Tertiaire continental discordant sur le Secondaire en petits lambeaux dispersés çà et là. C'est au Sud de la flexure sud atlasique que l'on peut observer la formation post-Turonien avec plus de continuité.

#### **III.1.1 Série triasique**

Le Trias diapirique se compose d'argile bariolé versicolore, d'évaporite et de carbonates noirâtres. Il affleure à Ain Ouarka, Djenien Bourezg, El Hendjir, NW d'El Rhounjaia, Koudiet Tiourtalt, Djebel Melah, etc. ....il apparait le plus souvent aux cœurs des anticlinaux en position stratigraphique anormale sous forme de diapirs ou bien en masses injectées le long des grandes fractures qui ont affecté la couverture sédimentaire.

Le Trias diapirique d'Ain Ouarka se compose de:

- un ensemble évaporitique gypso salin,
- argiles bariolées versicolores (violette, rouges, vertes),
- argiles violettes à barres gréseuses et trainées de sels,
- carbonates noirâtres déformés à trainées de sel,
- intrusions de basaltes doléritiques et de roches vertes à structures ophitique qui ont repris tous les faciès.

Les ophites dont l'épaisseur à Ain Ouarka peut dépasser les vingt mètres forment une coupole au dessus de la masse argileuse et se trouvent stratigraphiquement en position normale sur ces argiles.

##### **III-1.1.1. Infra Lias**

Les terrains rapportés à l'infra Lias sont le plus souvent en position anormale, liés aux diapirs, sauf en de rares endroits : Dj. Mellah (30m) d'épaisseur, à Tiout (35m). C'est une formation argilo dolomitique d'âge Rhetien à Hettangien (G .B .M. FLAMANT, 1911., J.P BASSOULET, 1973).

#### **III-1.2 Série jurassique**

Elle comprend :

**III-1.2.1. « Formation de Chemarikh »** (figure.4) (DOUIHASNI, 1976 ., ELMI, 1978 ) :

ou les dolomies de Chemarikh (MEKAHLI, 1995), d'âge Hettangien inférieur-Sinémurien. Elle est d'une épaisseur de 150 à 200 m, il s'agit de calcaires dolomitiques.

**III-1.2.2. « Alternance de Ain Ouarka »** (MEKAHLI, 1995) : cette formation dessine des chevrons plaqués sur la dolomie de Chemarikh (NW de Dj Chemarikh), d'âge Sinémurien-Domérien, cette formation possède une épaisseur de 120 à 170 m constituées de marnes et de calcaires. L MEKAHLI (1995) a subdivisé cette formation en 07 membres et sont de bas en haut :

-Membre a: Calcaire noirâtre lités, à intercalation marneuse à ammonites.

-Membre b: Calcaire sublithostratigraphique grisâtre à trainées rouges à intercalation marneuse à ammonites.

-Membre c: Alternance de marnes et de calcaires à silex.

-Membre d: Alternance de marne et de calcaire ondulés et bioturbés.

-Membre e: Alternance verdâtre de marnes et de calcaires, c'est une micrite pélagique riche en radiolaires.

-Membre f: Alternance violacée de marnes et de calcaires, c'est une formation de l'ammonitico-rosso.

-Membre g: Alternance noirâtre de marnes et de calcaires.

**III-1.2.3. « Marno-calcaire de Ain El Rhezala »**, (MEKAHLI, 1995): ce sont les affleurements blanchâtres entre la dépression d'Ain El Rhezala et le flanc NW du Chemarikh. Cette formation est représentée par une alternance de marnes et de calcaires blanchâtres très riches en ammonites, filaments et zoophycos. Ayant un âge Lias supérieur (Toarcien, début de l'Aalénien, elle possède une épaisseur de 65 à 110 m.

**III-1.2.4. « Brèche de la Reknet El Kahla »**, (MEKAHLI, 1995) : elle est d'âge Aaléno-Bajocien inférieur et est de 50 à 95 m d'épaisseur. Cette formation est limitée au sommet par les premiers bancs gréseux de Teniet El Klakh, elle est caractérisée par l'abondance de brèches, de figures de glissement et de calcaires noirs à aspect schisteux qui renferment parfois des lentilles d'oolithes. Ainsi que la présence des fragments d'ammonites (Ermocéras), des brachiopodes des lamellibranches à tests minces etc.

**III-1.2.5. Formation de Teniet El Klakh** (J.P.BASSOULET, 1973) (fig.5): cette formation constitue la dépression contournant le relief de Chemarikh (dépression de Ain Rhezala). D'une puissance d'environ 456m, elle est subdivisée en un membre inférieur argilo gréseux (406 m) et un membre supérieur argilo carbonaté (50 m). Elle est d'âge Bajocien supérieur.

**III-1.2.6. Formation de Tifkirt** (J.P.BASSOULET, 1973): d'âge Bajocien supérieur Bathonien inférieur. C'est une alternance de calcaires récifaux, bioclastiques ou oolithiques, de grès de marnes et d'argiles. Elle est d'une épaisseur d'au moins 500m et débute par les récifs à Ain Ouarka.

**III-1.2.7. Formation de Djara** (J.P.BASSOULET, 1973) (fig.5): c'est une alternance de grès, d'argilites et de dolomie. Cette formation de 472 m d'épaisseur est subdivisée en deux membres:

- un membre inférieur (242 m) caractérisé par l'importance des épaisseurs des bancs. Il est constitué par une alternance de calcaires de dolomies, de grès et d'argiles.
- Un membre supérieur (230 m) caractérisé par la réduction des épaisseurs des alternances de grès, d'argiles et dolomies. Le taux des grès domine et devient important vers le sommet. Cette formation serait d'âge Bathonien inférieur- Callovien ( A. KACEMI 2005).

**III-1.2.8. Formation d'Aissa** (J.P. BASSOULET,1973): c'est une formation de 623m d'épaisseur entièrement argilo gréseuse. Elle est subdivisée en deux membres :

- Membre inférieur ou membre des alternances espacées (304m) généralement constitué d'argiles et d'argiles silteuses, de couleur verdâtre ou lie de vin affleurant en combe. Ces argiles alternent avec de grosses barres de grès à grandes stratifications obliques qui peuvent atteindre 25 m d'épaisseur.
- Membre supérieur ou membre des alternances rapprochées (333 m): il est caractérisé par la rareté des argiles. Les grès peuvent être d'une épaisseur d'une soixantaine de mètres. La partie supérieure de ce membre est caractérisée par la couleur rosâtre des grès et la présence de dragées de quartz. Cette formation serait d'âge Jurassique supérieur (Kimméridgien-Portlandien) (J.P BASSOULET ,1973).

Etage	Formation	Epais	Colone lithologique	Description lithologique
Oxfordien Callovo Bathonien Sup	Djara	470m		Grès siliceux à stratification oblique dans les argiles et de rares bancs dolomitiques
Bathonien inf Bajocien Sup	Tifkirt	540m		Calcaires dolomitiques à oolithes Argiles Alternance calcaire, grès, argile et calcaires, oolithiques et lumachelliques Récifs
Bajocien supérieur	Teniet El Klakh	500m		Marnes vertes entrecoupées par des niveaux de calcaires sublithographiques et oolithique
Aaléno-Bajocien	B. De Reine El Kalila	95m		Grès furigineux à microfissurations entrecroisées.
Toarcien Aalénien	M.C de Ain Rhezala	110m		Marnes gris avec intercalation de niveau de calcaires Alternance de marne et de calcaires blanchâtre riche en Ammonite, filaments et Zoophycos
Domérien sup Sinémurien	Alternance de Ain Oiana	170m		Alternance de marnes et calcaires
Sinémurien Hettangien inf	Dolomie de Chemarikh	200m		Calcaires dolomitiques à débris d'organismes et nodules de silex
Trias (Keuper)		+ de 250 m		Argiles bariolées de bas altes, gypse et de roches vertes

Fig.5: Coupe lithostratigraphique des formations du Lias et Dogger dans la partie centrale des Monts des Ksour (DOUIHASNI, 1976)

### III-1.3 Passage Jurassique-Crétacé (Région d'Ain Sefra)

**III-1.3.1. La formation de Tiloula** (J. P BASSOULET , 1973) (figure.6) d'une épaisseur de 466m, bien visible dans la nature. Elle constitue un repère structural important car elle débute les grands synclinaux à fond plat par de fortes arrêtes gréseuses (synclinal d'Ain Sefra). Elle occupe la périphérie des grands massifs jurassiques tels que Aissa, Mekther, Djara ,etc ... Cette formation est caractérisée par :

- l'augmentation des épaisseurs des argiles étant très faible dans la formation précédente.
- l'apparition des premiers niveaux dolomitiques,
- la disparition des grès rosâtres à dragées de quartz,

- l'apparition des grès plus ou moins massifs ou en plaquettes de très faible épaisseur et très espacés à grains fins.

Le passage Jurassique-Crétacé s'effectuerait au sein de cette formation (J.P BASSOULET, 1973).

### **III-1.4 Série crétacée (Région de Tiout et Rhoundjaia)**

**III-1.4.1. Coupe de Tiout** (A.KACEMI, 2005) : Cette formation correspond au plus grand ensemble lithologique qui constitue les vastes synclinaux de Tiout , d'Ain Sefra d'El Hendjir. Ils sont tous les trois séparés par les anticlinaux de Djebel Mekther au Sud de Djebel Aissa et Garet Dabba, au Nord. C'est une formation très puissante de 1065 m à dragées de quartz et d'argiles. Elle comprend un épandage détritique terrigène qui se généralise à la fin du Crétacé inférieur.

Selon la composition lithologique et la disposition géomorphologique et structurale des bancs, cette formation est subdivisée en trois membres.

- Un membre inférieur (113m): occupe les crêtes et il est constitué généralement de grès rose à rougeâtre à dragées de quartz. C'est le membre des grès inférieurs de Tiout
- Un membre médian (794m) : ce membre occupe une plaine ou dépression. Il est constitué d'une alternance d'argile et de grès. C'est le membre des alternances argilo-gréseuses
- Un membre supérieur(158m) : occupant la Dalàa de Tiout. C'est le membre des grès de Tiout.

Selon BASSOULET (1973), cette formation sembla correspondre à une grande partie du Crétacé inférieur au moins à l'Aptien et à l'Albien.

Etage	Formation	Epais	Colonne lithologique	Description lithologique
Albien	Tiout	1065m		Grès rouges
Aptien				Grès tendres massifs à dragés de quartz
				Argiles verticales.
Barrémien				Grès blancs massif .
				Alternances d'argiles rouges et de grès à stratification oblique
				Grès fins silteux à microstratification oblique
	Argiles rouge			
Infracétacé Néocomien	Tiloula	466m		Grès rose à rougeâtres à dragées de Quartz
				Grès blancs, fins, siliceux à microstratifications obliques
				Argiles vertes
				Calcaires dolomitiques en plaquettes beige
				Alternances d'argiles et de grès
				Calcaires dolomitiques
Kimmuridjien et Portlandien	Aissa	623m		Grès à dragées de quartz avec des rares bancs d'argiles
				Alternances d'argiles silteuses et de grès à stratifications obliques

Fig.6: Coupe lithostratigraphique des formations du Jurassique-Crétacé dans la partie centrale des monts des Ksour (A.KACEMI, 2005)

### III-1.4.2- Coupe de Safret El Djir (A. KACEMI, 2005) (figure.7)

a) **Situation** : Safret El Djir est une carrière de concassage d'agrégats, situé à 2.5 km au Sud d'El Hendjir, sur la route qui mène à Sfisifa et Forthassa.

La coupe de direction SSE-NNW à Safret El Djir est représentée en affleurement par une crête de direction SW-NE. Elle est caractérisée par sa couleur claire qui s'élève sur 1206m. Cette coupe a pour coordonnées Lambert sur la carte 1/100000 d'Ain Sefra :

$$X_1 = 181.40 \quad X_2 = 180.20$$

$$Y_1 = 237.70 \quad Y_2 = 238.80$$

La région est très tectonisée et englobe les formations de Rhelida du Mdaouar et de la Rhounjaia. Elle est affectée par une faille de direction NS située à l'Est de Safret El Djir séparant le complexe Vracono-Cénomaniens-Turonien, de la formation Barrémo-albo-aptienne.

A 600m au Nord, le complexe triaso-infraliasique affleure dans le Crétacé inférieur (formation de Tiout) grâce à cette faille NS.

Les couches de cet affleurement de Safret El Djir plongent de 70° vers le NW et font partie du grand synclinal de Ain Skhoua qui occupe la partie la plus occidentale qui a été déplacée vers le NW par cette faille NS d'El Hendjir.

#### b) **Description** :

**1- Formation de Rhelida** (J.P BASSOULET 1973) (53m): cette formation est constituée d'une alternance d'argile, d'argile marneuse, de dolomies et de minces lits gréseux. La limite inférieure est marquée par des bancs gréseux métriques en plaquettes (9m), rosâtres à jaunâtres, à la cassure à grain moyen fin, appartenant au membre supérieur de la formation de Tiout.

La limite supérieure est marquée par un banc dolomitique (0.30m) jaunâtre à la patine grisâtre à la cassure, coiffé par un banc de marnes à gypse (0.50m). Cette formation est attribuée au Vraconien (BASSOULET, 1973).

**2- Formation de Mdaouar** (J.P BASSOULET, 1973) : c'est une formation de marnes à gypse de 55m d'épaisseur d'âge Cénomaniens inférieur.

**3-Formation de Rhoundjaia** (DOUIHASNI, 1976) : d'une épaisseur de 50m, cette formation est subdivisée en trois membres :

- \*- Un membre inférieur (B1): il est en contact direct avec les marnes à gypse de la formation de Rhelida, il est constitué par des calcaires dolomitiques et des calcaires.
- \*-Un membre médian (inter barre ou B: il est représenté par une combe occupée par des marnes et des marno-calcaires.

\*- Un membre supérieur (B2): il est formé par des calcaires et des calcaires dolomitiques. Elle est d'âge Cénomaniens supérieur –Turonien inférieur (J.P BASOULET, 1973).

Etage	Formation	Epais	Colonne lithologique	Description lithologique
Turonien inf	Rhoundjaia	53m		Calcaires bioclastiques à nodule de silice au sommet
Cénomaniens sup				Calcaires et marnes
Cénomaniens inf	Mdaouar	55m		Alternance de marne à gypse, de gypse et dolomies
Vraconien	Rheli da	50m		Alternance d'argiles grés et de dolomies

Fig.7 : Coupe lithostratigraphique de Safret el Djir  
(A.KACEMI, 2005)

### III-1.5 Formations post –turonniennes

Elles sont constituées de dépôts molassiques d'âge sénonien tertiaire ou quaternaire, aucune de ces formations n'a pu être datée, ce sont des calcaires, des grès et des conglomérats.

### III-1.6 Formations quaternaires :

Les formations quaternaires sont constituées par plusieurs types de dépôts :

\*- Les limons anciens: attribués au Plio-Quaternaire et Quaternaire ancien et constituent des alluvions connues par GALMIER, 1970 sous le terme de « formation Turfacée » elle est constituée de limons et de microconglomérats. D'après DOUIHASNI 1976, à ces limons anciens sont rattachés des tufs et travertins localisés à proximité des sources et souvent liés à des accidents.

\*- Colluvions de piémonts: constitués de cailloutis de pente cimentés par des carbonates, ils forment les brèches de pente.

\*- Colluvions anciennes: elles sont peu épaisses, localisées sur les étendues planes ou dans les dépressions de faible pente. Ce sont des formations argileuses sableuses et conglomératiques.

\*- Alluvions récentes: elles jalonnent les lits des oueds et sont constitués de sables.

\*- Formations éoliennes: elles sont assez répandues dans la région d'Ain Sefra. Ces accumulations sableuses constituent les dunes qui jalonnent la partie Nord et Nord-Est du Djebel Mekther. La plupart des dunes paraissant fossilisées.

#### **IV-APERÇU STRUCTURAL**

L'Atlas saharien présente une structure en éventail avec des plis coffrés allongés et d'importantes fractures, dont plusieurs ont une orientation NE - SW. Il est constitué d'anticlinaux pincés à flancs redressés, alternant avec des synclinaux à fond plat.

##### **IV.1.Tectonique souple**

Les dépôts turoniens affectés par des plissements dans l'ensemble de l'Atlas saharien permettent selon différents auteurs. GALMIER, 1970 et BASSOULET, 1973 d'attribuer un âge tertiaire à la phase orogénique.

A la phase principale des plissements intenses de la série mésozoïque, succèdent d'autres rejeux non synchrones d'Est en Ouest et qui sont selon GALMIER, 1970 une phase de plissement ayant affectée « les poudingues des Ksour »

Une phase récente liée au décrochement N 80° E et N 160°E, recoupe presque toutes les structures.

En fonction de Leur densité et leur direction, les plis complexes de petites dimensions, de formes irrégulières ou les synclinaux sont biens plus marquées que les anticlinaux.

Une zones centrale (Djebel Aissa et Djebel Mekther ) englobe les structures à matériel jurassique. Ces dernières sont trapues, larges et constitués par des grès. Les voûtes sont surbaissées coffrées et massives.

Une zones orientale dans la structure des plis est plus simple et correspond au style des plis atlasiques.

##### **IV.2.Tectonique cassante :**

L'étude de la fracturation permet d'individualiser trois zones principales dans l'Atlas saharien occidental:

- Une zones occidentale à très forte fracturation, où les accidentes nord sud et N 30° à N40° jouent un rôle prépondérant.

- Une zone centrale où la fracturation diminue, mais demeure importante, elle est représentée par les directions N 70° à N 85° à des cisaillements importants.
- Certaines failles, de direction N 110° à N 160°, recoupant l'ensemble des structures sont postérieures aux plissements, les accidents N 110° sont généralement dextres et bien marqués au Djebel Mekther et Aissa peu exprimées au Djebel Morghad.

### **IV.3. Mobilité et plasticité du Trias**

Les mouvements du Trias se sont fait soit horizontalement avec entraînement de la couverture, ce qui explique la multiplicité des axes structuraux et l'existence des plis disharmoniques, soit verticalement avec rehaussement des structures (MEKAHLI, 1998).



Le secteur d'étude fait partie de l'atlas saharien occidental, il est caractérisé par une série de synclinaux et d'anticlinaux faillés, plus ou moins parallèles de direction générale Sud Ouest-Nord Est.

### **V.1 Stratigraphie du secteur d'étude**

Dans le secteur d'étude, les affleurements des formations géologiques sont représentés par:

**V.1.1.Trias:** Il affleure à djebel Zerigat, sous forme de diapir. Il est constitué d'argiles bariolées à gypse. Il renferme aussi dans quelques affleurements des roches vertes éruptives (ophites) associées à des marnes et argiles bariolées.

**V.1.2.Jurassique supérieur:** C'est une puissante série argilo-gréseuse constituant la plupart des grands anticlinaux des Monts des Ksour. Il s'agit de grès massifs à stratifications obliques et d'argiles pelitiques avec une abondance d'argiles à la base de la formation. Les grès ont une épaisseur de 30 à 40 mètres. Ils affleurent particulièrement au niveau de Hassi El Meguil.

**V.1.3.Néocomien:** seul le sommet de la série est visible. Ce sont des alternances de bancs de grès blancs ou verdâtres et d'argile à gypse. L'épaisseur de cette série varie considérablement d'un point à un autre. En général, il constitue une gouttière à la périphérie des grands massifs jurassiques et est séparé des synclinaux à fonds plats par une ou plusieurs fortes arrêtes gréseuses.

**V.1.4.Barrémo-Aptien:** C'est un puissant complexe de grès blancs à nombreuses lentilles argileuses d'une épaisseur de 794m. Il est particulièrement développé au niveau de Djenien Bourezg.

**V.1.5.Albien:** C'est une puissante série de grès roses à dragées de quartz avec quelques niveaux argileux rouges, son épaisseur est de 151m. Localement, ils sont connus sous le nom des grès de Tiout. Ils affleurent au Nord Est de Aïn Sefra.

**V.1.6.Mio-Pliocène :** Cette formation se présente sous des aspects assez différents d'un lieu à un autre, avec cependant une prédominance de dépôts argilo-gréseux rouges.

#### **V.1.7. Tertiaire continental :**

visible à l'Est et au Nord Est du Chef Lieu, il est constitué d'une carapace calcaire de quelques décimètres à quelques mètres.

#### **V.1.8.Quaternaire :**

Ce terme est attribué aux alluvions anciennes, aux alluvions d'oueds, aux dunes et aux éboulis de pente et formations tufacées qui se sont développées le long de la Route nationale 6.

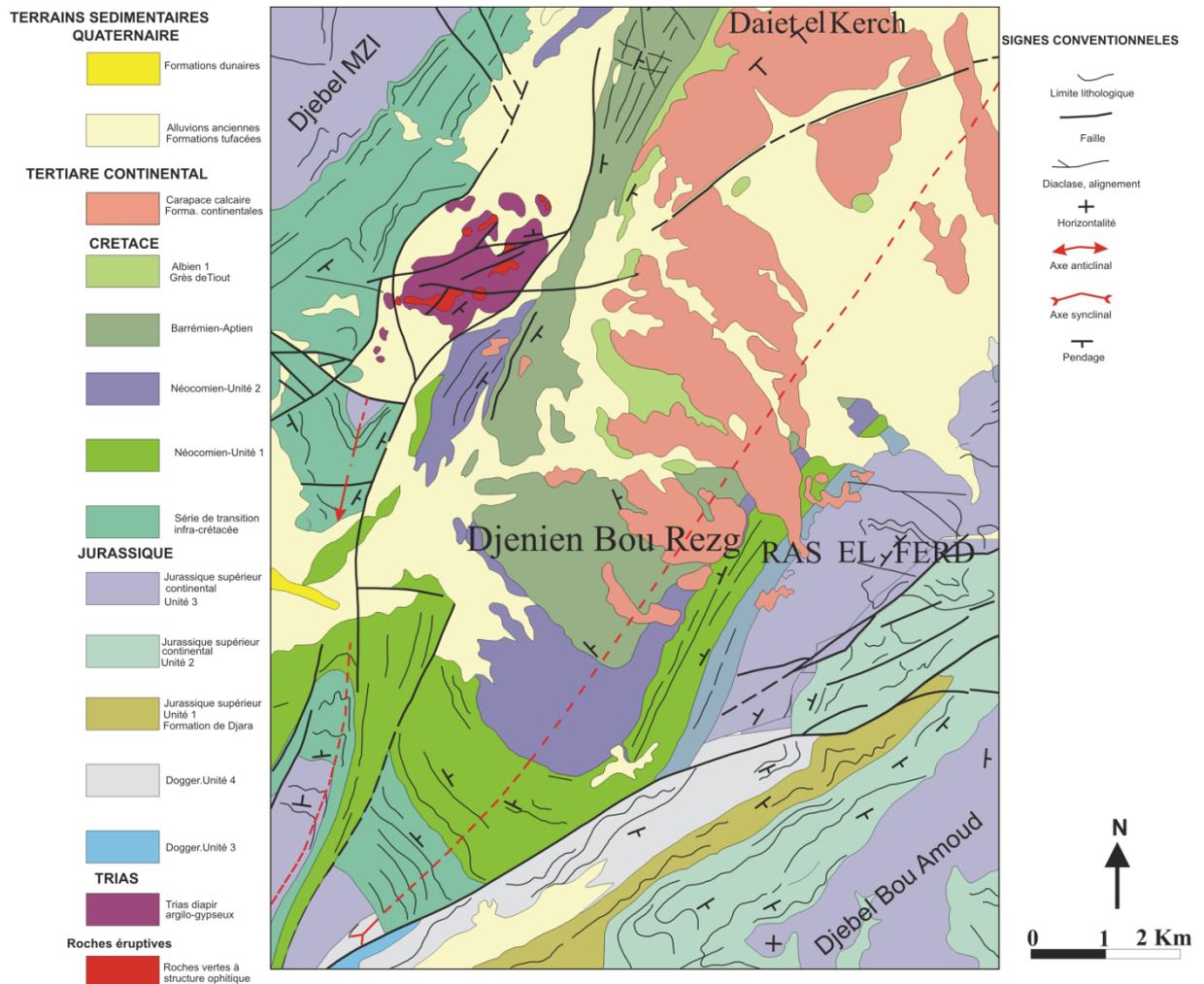


Fig.9 : Carte géologique du secteur d'étude (GALMIER, 1970)

## V.2- ETUDE STRUCTURALE DE LA REGION D'ETUDE

Cette région a été intensément plissée et faillée. Le style tectonique est classique celui de l'Atlas saharien. Entre de vastes voutes anticlinales de direction Nord Est-Sud Ouest s'étalent des synclinaux albiens à fonds plats comme c'est le cas à l'Ouest du Chef Lieu. Ce sont généralement des zones où d'intéressantes nappes hydrogéologiques peuvent être mises en évidence. Les deux agglomérations de la région ne sont pas directement affectées par les tracés de failles car elles sont situées sur des sites plats. Cependant, il y'a lieu de noter que les montagnes situées à l'Est représentées par Djebel Bou Amoud sont intensément faillées selon la direction Nord Est – Sud Ouest mais sont assez éloignées de Djenien et Hadjrat El Meguil.

## CHAPITRE III : CLIMATOLOGIE

## I. INTRODUCTION

Le climat est l'ensemble des phénomènes (précipitations, température, vent, évaporation...) qui varie d'un lieu à un autre de la surface terrestre. Il peut agir directement sur l'approvisionnement en eau potable puisqu'il modifie le régime des cours d'eau et le volume des nappes.

La climatologie étudie la combinaison de phénomènes météorologiques à la surface du globe, elle a pour objet de déterminer le type de climat d'une région.

Notre étude climatique sera effectuée à partir des données météorologiques, températures, précipitations moyennes mensuelles de la station météorologique d'Ain Sefra (Tableau.1).

Tableau.1: Caractéristiques de la station d'Ain Sefra.

Station	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Code
Ain Sefra	32°76 N	00°60 W	1058	60560

## II. ETUDE DES PRECIPITATIONS

### II.1- PRECIPITATIONS ANNUELLES

Les précipitations annuelles et mensuelles durant la période (1982-1983/2012-2013) sont reportées dans l'Annexe (Tableau-A-)

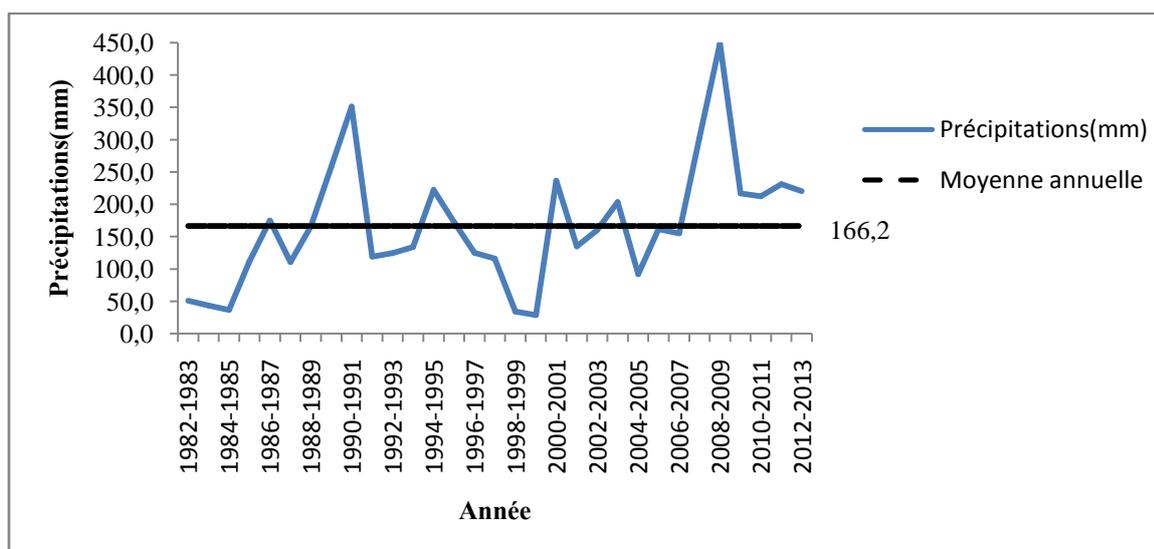


Fig.10 : Variation des précipitations moyennes annuelles à la station d'Ain Sefra (1982-83/2012-13)

Tableau.2: Valeurs des précipitations moyennes annuelles à la station d'Aïn Sefra (1982-83/2012-13)

Année	P (mm)	Année	P (mm)	Année	P (mm)
1982-1983	51,1	1993-1994	133,7	2003-2004	203,5
1983-1984	43,2	1994-1995	222,0	2004-2005	91,7
1984-1985	36,3	1995-1996	172,8	2005-2006	161,3
1985-1986	111,0	1996-1997	124,8	2006-2007	155,0
1986-1987	175,0	1997-1998	115,9	2007-2008	302,1
1987-1988	110,4	1998-1999	34,1	2008-2009	448,6
1988-1989	165,3	1999-2000	28,5	2009-2010	216,9
1989-1990	258,3	2000-2001	236,8	2010-2011	212,4
1990-1991	351,3	2001-2002	134,7	2011-2012	230,9
1991-1992	119,2	2002-2003	160,1	2012-2013	220,2
1992-1993	124,3	<b>Précipitations moyennes annuelles = 166,2 mm</b>			

L'analyse de la figure.10 et le tableau.2, montre que la station a enregistré la plus faible valeur en 1999-2000 avec 28,5mm, la valeur maximale en 2008-2009 avec 448,6mm et la moyenne enregistrée sur toute la série est d'environ 166,2mm.

## II.2- COEFFICIENT D'IRREGULARITE DU REGIME DES PRECIPITATIONS

Le coefficient d'irrégularité du régime des précipitations annuelles à la station d'Aïn Sefra est donné par le rapport du module de l'année la plus humide  $P_M$  à celui de l'année sèche  $P_m$

$$\frac{P_M}{P_m} = \frac{448,6}{28,5} = 15,7$$

15,7 est une valeur désignant une irrégularité prononcée, caractéristique du climat aride.

## II.3- PRECIPITATIONS MOYENNES MENSUELLES

Les valeurs des précipitations moyennes mensuelles sur la période (1982/1983-2012/2013) pour la station d'Aïn Sefra sont reportées sur le tableau.3:

Tableau.3: Valeurs des précipitations moyennes mensuelles.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	An
P(mm)	21,7	29,8	15,6	6,8	8,5	12,2	20,9	11,4	18,2	7,9	3,9	9,3	166,2

Le tableau.3 et la figure.11, montrent que le mois le plus pluvieux est celui d'Octobre avec 29,8 mm et le plus sec est celui de Juillet avec une valeur de 3,9mm.

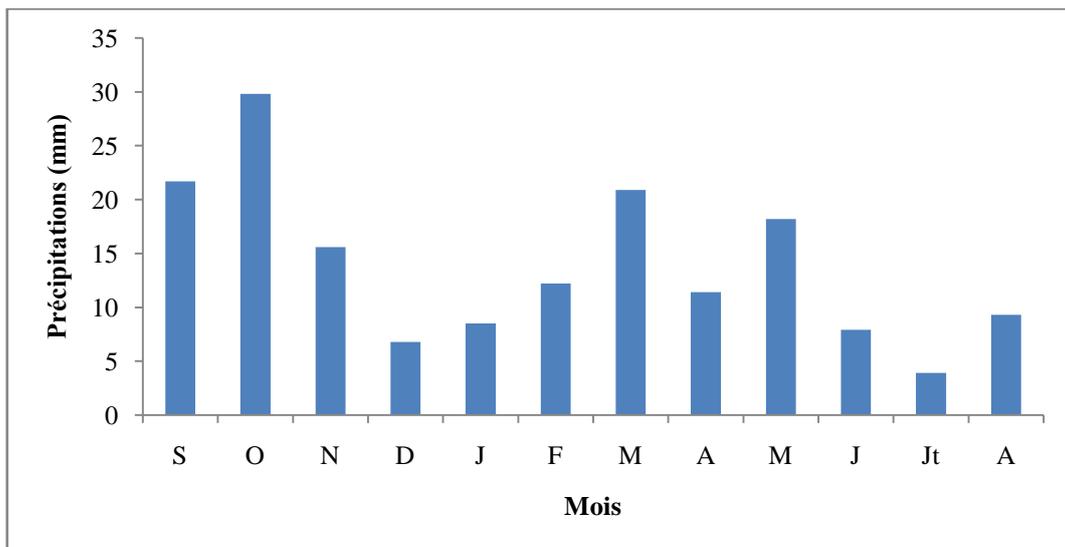


Fig.11: Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station d'Ain Sefra

#### II.4- PRECIPITATIONS SAISONNIERES

- Automne : Septembre, Octobre, Novembre.
- Hiver : Décembre, Janvier, Février.
- Printemps : Mars, Avril, Mai.
- Été : Juin, Juillet, Août.

Les précipitations saisonnières à la station d'Ain Sefra sont données au tableau.4:

Tableau.4: Valeurs des précipitations saisonnières à la station d'Ain Sefra.

Saison	Automne	Hiver	Printemps	Eté
Précipitations (mm)	67,1	27,5	50,5	21,1

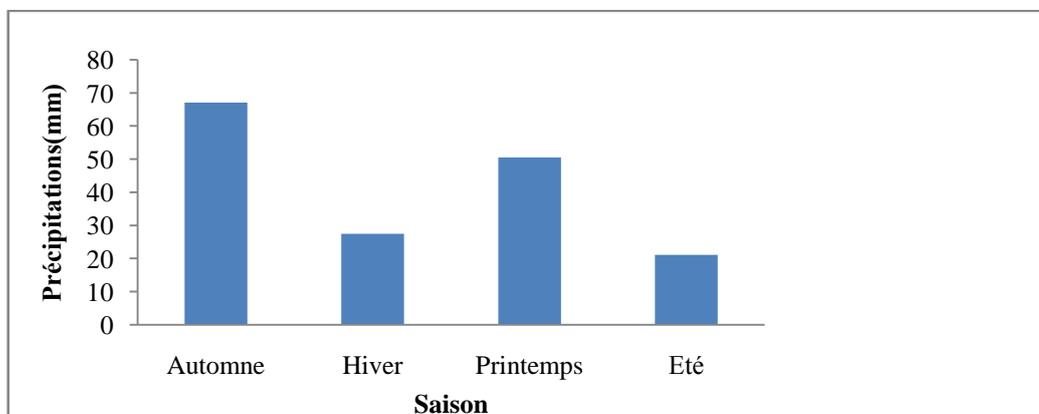


Fig.12: Variation des précipitations moyennes saisonnières à la station d'Ain Sefra

Le tableau.4 et la figure.12, montrent que l'automne est la saison la plus humide (67,1mm) et l'été la plus sèche (21,1mm).

### III. ETUDE DES TEMPERATURES

Les températures moyennes annuelles et mensuelles régissent directement le climat en interaction avec les autres facteurs météorologiques, elles permettent avec les précipitations, le calcul du déficit d'écoulement et les indices climatiques. Les températures annuelles et mensuelles sont reportées en annexe (tableau-B-).

#### III.1- Températures moyennes mensuelles

Nous avons reporté dans le tableau.5:

- Les moyennes mensuelles et annuelles des maxima  $T_M$  en °C
- Les moyennes mensuelles et annuelles des minima  $T_m$  en °C
- Les moyennes mensuelles des températures  $(T_M+T_m)/2$  en °C

Tableau.5: Valeurs moyennes mensuelles des températures à la station d'Aïn Sefra durant la période (1982/1983-2012/2013)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
$T_M$	27,9	23,1	18,6	12,7	10,9	14,2	18,1	20,7	26,5	31,1	33,5	32,3
$T_m$	21,9	16,6	10,6	07,0	05,5	06,2	10,9	14,9	17,4	23,2	28,7	28,6
$(T_M+T_m)/2$	24,9	19,8	14,6	9,8	08,2	10,2	14,5	17,8	21,9	27,1	31,1	30,4

- Les variations des températures moyennes mensuelles à la station d'Aïn Sefra sur une période de 31 ans (1982/1983-2012/2013) sont représentées sur la figure.13.

- Pour les moyennes des maxima, le maximum apparait au mois de Juillet (33,5°C), puis les températures décroissent pour atteindre (10,9°C) en Janvier.

- pour les moyennes des minima, la plus faible valeur se présente en Janvier (5,5°C). Au delà, on assiste à une augmentation de la température, le minimum le plus élevé se présente en Juillet (28,7°C).

- Pour les températures moyennes, le minimum apparait au mois de Janvier (8,2°C).le maximum se présente en Juillet (31,1°C).

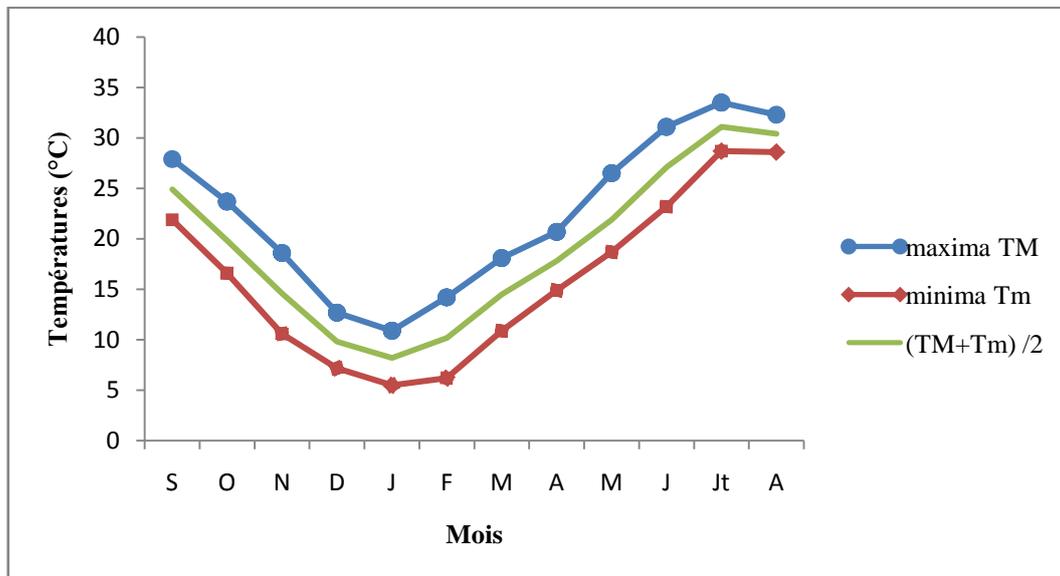


Fig.13: Variation des températures moyennes mensuelles à la station d'Ain Sefra

#### IV. ETUDE DU CLIMAT

Pour l'étude du climat, il existe différentes méthodes qui sont basées sur la détermination d'indices qui permettent de caractériser le type du climat de la région à partir des précipitations et des températures.

##### IV.1- METHODE DE VISUALISATION

##### IV.1.1. Courbe pluviothermique (Figure.14)

Pour GAUSSEN et BAGNOULS, un mois sec est celui où le total des précipitations exprimées en mm est inférieur ou égal au double de la température moyenne exprimé en degrés Celsius ( $P < 2T$ ).

- Cette relation permet d'établir des diagrammes pluviothermiques dans lesquels les températures sont portées sur une échelle double de celle de précipitations.
- La courbe des températures passe au dessus de celle des précipitations pendant les mois secs.
- Pour les mois humides, la courbe des précipitations passe au dessus de la courbe des températures.

Les valeurs des précipitations et températures mensuelles sont reportées dans le tableau suivant :

Tableau.6: Précipitations et températures mensuelles

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
Précipitations (mm)	21,7	29,8	15,6	6,8	8,5	12,2	20,9	11,4	18,2	7,9	3,9	9,3
Température (°C)	24,9	19,8	14,6	9,8	08,2	10,2	14,5	17,8	21,9	27,1	31,1	30,4

D'après le diagramme pluviothermique (fig.14), nous remarquons que la courbe des températures se situe au dessus de la courbe des précipitations pendant toute l'année, ce qui indique une période sèche (déficitaire).

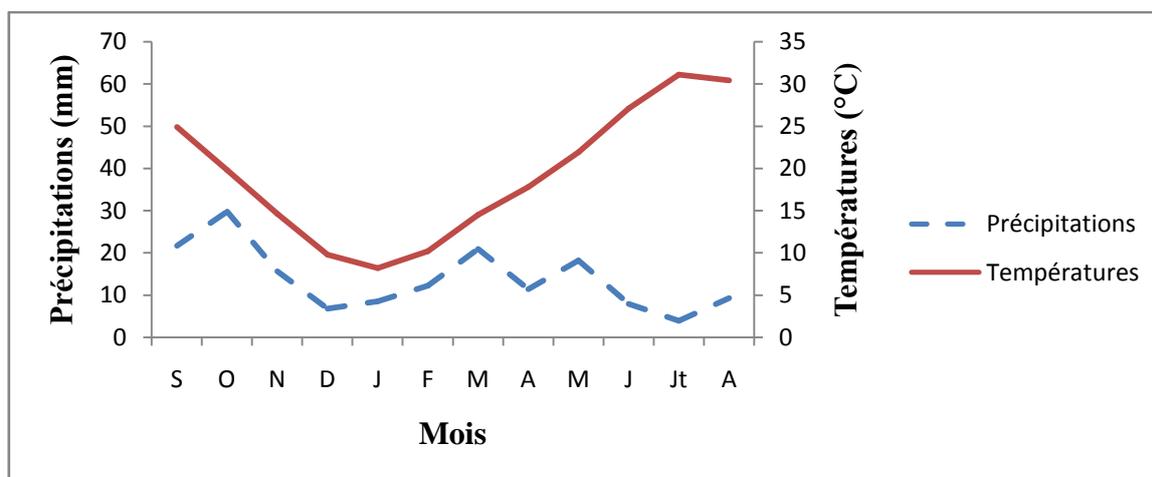


Fig.14: Diagramme pluviothermique de la station d'Ain Sefra

#### IV.2- Rapport entre précipitations et températures

Le rapport P/T représenté par le tableau.7, permet de mieux appréhender l'évolution des temps climatiques mensuels.

Tableau.7: Rapport P/T

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
T (°C)	24,9	19,8	14,6	9,8	08,2	10,2	14,5	17,8	21,9	27,1	31,1	30,4
P (mm)	21,7	29,8	15,6	6,8	8,5	12,2	20,9	11,4	18,2	7,9	3,9	9,3
P / T	0,87	1,51	1,07	0,69	1,04	1,20	1,44	0,64	0,83	0,29	0,13	0,31
Type	Très sec		Sec	Très sec			Sec	Très sec				

Pour :  $P / T < 1$   $\Rightarrow$  Station très sèche subméditerranéenne

$1 < P/T < 3$   $\Rightarrow$  Station sèche subméditerranéenne

## 02 types de sous climats se présenteraient dans l'année :

- Très sec subméditerranéen affectant les mois d'Avril, Mai, Juin, Juillet, Août, Septembre et Décembre.
- Sec subméditerranéen concernant les mois d'Octobre, Novembre, Janvier, Février et Mars.

D'après la classification d'EUVERTE, la région d'Ain Sefra appartiendrait à une zone très sèche subméditerranéenne.

## V. INDICES CLIMATIQUES

L'utilisation des indices climatiques définis par différents auteurs est intéressante, car elle permet de définir le climat de la région.

### V.1-Indice d'aridité de DE MARTONNE

a) **Indice d'aridité annuel de DE MARTONNE** : défini par :

$$I = \frac{P}{10 + T}$$

Avec : P : précipitations moyennes annuelles (mm)

T : températures moyennes annuelles (°C)

$$I = 5,69$$

Pour :  $20 < I < 30$   $\Longrightarrow$  climat tempéré

$10 < I < 20$   $\Longrightarrow$  climat semi aride

$7,5 < I < 10$   $\Longrightarrow$  climat steppique

$5 < I < 7,5$   $\Longrightarrow$  climat désertique

$1 < I$   $\Longrightarrow$  climat hyper aride

A la station d'Ain Sefra, l'indice **I** est égal à 5,69, nous pouvons dire que la station jouit d'un régime désertique à écoulement temporaire (fig.15).

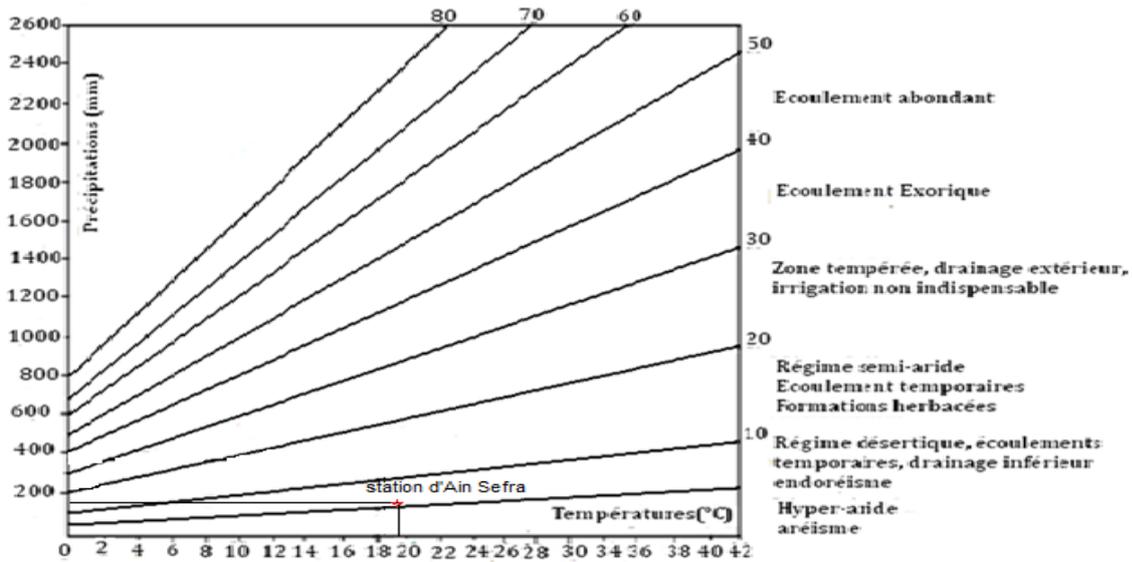


Fig.15: Abaque pour le calcul de l'indice d'aridité annuel de DE MARTONNE.

**b) Indice d'aridité mensuel de DE MARTONNE i:**

Il est intéressant de considérer également les variations mensuelles de l'indice d'aridité, en utilisant la relation mise au point par les élèves de DE MARTONNE :

$$i = \frac{12p}{t + 10}$$

avec:

p : précipitations moyennes mensuelles (mm)

t : température moyenne mensuelle (°C).

Les résultats d'indice d'aridité mensuel de DE MARTONNE i, sont reportés sur le tableau.8 :

Tableau.8: Valeurs d'indice d'aridité mensuel

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
i	7,5	12,0	7,6	4,1	5,6	7,2	10,2	4,9	6,8	2,6	1,1	2,8
Type	Dés	S A	Stp	H A	Dés	S A	H A	Dés	Dés	H A	H A	H A

Dés : Désertique, S A : Semi aride, Stp : Steppique, H A : Hyper aride.

- Le calcul des indices d'aridité mensuels (Tableau.8) montre que le climat est de type :

- Semi-aride ( $10 < i < 20$ )  $\longrightarrow$  mois d'Octobre et Mars.
- Désertique ( $5 < i < 7,5$ )  $\longrightarrow$  mois de Septembre, Janvier, Février et Mai
- Steppique ( $7,5 < i < 10$ )  $\longrightarrow$  mois de Novembre.

- Hyper aride ( $i < 5$ )  $\implies$  mois de Décembre, Avril, Juin, Juillet et Août.

## V.2- Indice de MORAL

a) Indice annuel de MORAL :

L'indice annuel de MORAL est exprimé par l'équation :

$$I_M = \frac{P}{T^2 - 10T + 200}$$

Avec : P : précipitations moyennes annuelles (mm)

T : température moyenne annuelle (°C)

$$I_M = 0,44$$

L'indice d

e MORAL n'étant pas suffisant pour préciser le caractère climatique .MORAL nous a proposé un indice mensuel.

b) Indice mensuel de MORAL :

$$I_m = \frac{pm}{0,1t_m^2 - t_m + 20}$$

Avec : pm : précipitations moyennes mensuelles (mm)

t : température moyenne mensuelle (°C)

Tableau.9: Valeurs des indices mensuels de MORAL

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
$I_m$	0,36	0,78	0,64	0,35	0,46	0,59	0,82	0,34	0,39	0,11	0,04	0,11

Les quatre types de mois indiqués par MORAL sont :

- Mois pluvieux :  $P_m > 0,1 T_m^2 + T_m + 30$
- Mois humide :  $0,1 T_m^2 + T_m + 30 > P_m > 0,1 T_m^2 - T_m + 20$
- Mois sec :  $0,1 T_m^2 - T_m + 20 > P_m > 0,05 T_m^2 - T_m + 10$
- Mois aride :  $P_m < 0,05 T_m^2 - T_m + 10$

Les résultats de la méthode de MORAL sont groupés dans le tableau.10:

Tableau.10: Type des climats selon MORAL

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
P (mm)	21,7	29,8	15,6	6,8	8,5	12,2	20,9	11,4	18,2	7,9	3,9	9,3
$0,1 T_m^2 + T_m + 30$	116,9	89,0	65,9	49,4	44,9	50,6	65,5	79,5	99,9	130,5	157,8	152,8
$0,1 T_m^2 - T_m + 20$	57,1	39,4	26,7	19,8	18,5	20,2	26,5	33,9	46,1	66,3	85,6	82,0

$0,05 T_m^2 - T_m + 10$	16,1	9,8	6,1	5,0	5,2	5,0	6,0	8,0	12,1	19,6	27,3	25,8
Type	Sec	Sec	Sec	Sec	Sec	Sec	Sec	Sec	Sec	Aride	Aride	Aride

### V.3. Indice climatique d'EMBERGER

Pour définir son indice d'aridité, EMBERGER s'est basé sur les limites des zones occupées par les différentes associations végétales. Il propose d'utiliser la relation suivante :

$$Q_2 = \frac{2000P}{M^2 - m^2}$$

P : précipitations moyennes annuelles (mm)

M : moyenne des maxima de température en (°K) du mois le plus chaud

(M = 33,5+273 = 306,5°K)

m : moyenne des minima de température en (°K) du mois le plus froid

(m = 5,5+273 = 278,5°K)

Q<sub>2</sub> : quotient pluviométrique d'EMBERGER.

$$Q_2 = 20,29$$

En reportant cette valeur sur le diagramme d'EMBERGER (Fig.16) qui comporte en ordonnées les valeurs de Q<sub>2</sub> et en abscisses la moyenne des minima du mois le plus froid (°C). Nous constatons que la région appartient à un climat aride avec un hiver tempéré.

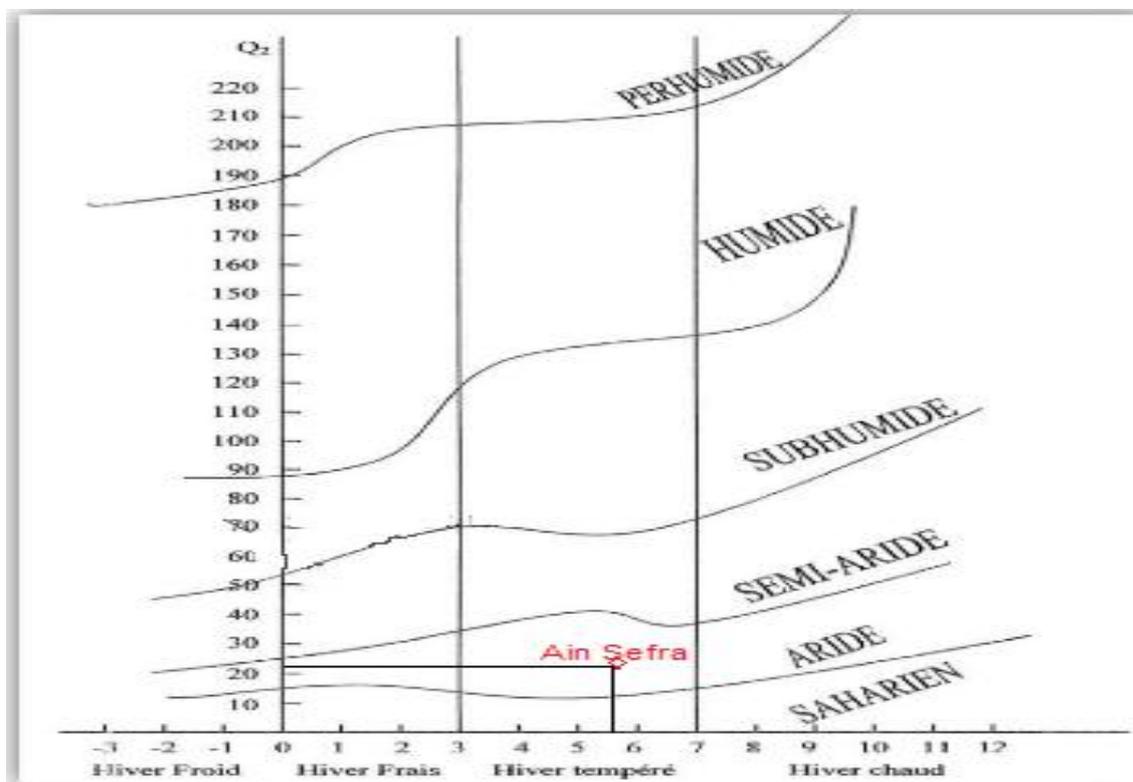


Fig.16: Climagramme d'EMBERGER

#### V.4. Indice de continentalité de KERNER

Cet indice est défini par la relation suivante :

$$K = \frac{T_0 - T_A}{A} \times 100$$

$T_0$  = température moyenne du mois d'Octobre.

$T_A$  = température moyenne du mois d'Avril.

A = amplitude entre le mois le plus chaud et le mois le plus froid.

$$K = 7,14$$

Comparant le résultat trouvé par les valeurs d'autres stations, on constate que les influences maritimes sont très faibles sur la région étudiée :

- Beni Saf :  $K = 34.7$
- Tlemcen :  $K = 21.8$
- Aflou :  $K = 15.7$
- Ain Sefra :  $K = 7,14$
- Ghardaia :  $K = 1.3$

D'après l'ensemble des indices calculés, on peut dire que la région d'Ain Sefra présente un régime désertique non affecté par les influences maritimes.

#### VI. EVAPORATION ET DEFICIT D'ECOULEMENT

Le processus d'évaporation est fondamental, il est à la source de la création des masses nuageuses et constitue de ce fait une phase essentielle du cycle de l'eau.

La vapeur de l'eau contenue dans l'atmosphère qui provient de l'évaporation des masses liquides (océans, mers, eaux continentales) et aussi dans une moindre mesure de l'évapotranspiration des végétaux est un régulateur essentiel du climat.

Cependant, l'évaporation de l'eau dans l'atmosphère dépend de nombreux paramètres qui sont difficiles à déterminer ou à mesurer. On sait qu'elle est directement fonction de la différence de température entre l'eau et l'air qui est plus frais.

Dans les régions désertiques, elle est importante aussi bien le jour que la nuit, en raison du rayonnement qui refroidit le sol par rapport à l'air qui produit son phénomène inverse: la condensation.

## VI.1- Evapotranspiration réelle (ETR)

### a)- Formule de Turc

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

ETR : Evapotranspiration réelle annuelle (mm/an).

P : précipitations moyennes annuelles (mm/an).

T : Température moyenne annuelle (°C).

Avec  $L = 300 + 25T + 0,05T^3 = 1133,89$

Donc : ETR = 173,1 mm/an.

Elle est toujours inférieure à l'évapotranspiration potentielle et correspond à la quantité qui est réellement évaporée.

- Calcul de l'évapotranspiration réelle selon THORNTHWAITE : cette méthode conduit d'abord à calculer pour chaque mois une évapotranspiration potentielle à partir du tableau.10 et des abaques donnés par l'auteur et ensuite déduire l'ETR.

Les valeurs de (i) sont reportées sur le tableau.11:

Tableau.11: Valeurs de (i)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	An
T(°C)	24,9	19,8	14,6	9,8	08,2	10,2	14,5	17,8	21,9	27,1	31,1	30,4	19,2
i	11,37	8,03	5,07	2,77	2,11	2,94	5,01	6,84	9,36	12,92	15,91	15,38	97,71

$$i = (T/5)^{1,514}$$

T : température mensuelle (°C)

I : Somme des (i)      I = 97,71

## VI.2- Evapotranspiration potentielle ETP

C'est la quantité d'eau nécessaire à la transpiration non ralentie d'un tapis végétal couvrant entièrement le sol et alimenté régulièrement en eau. Elle commande les excès et les déficits des régions humides et arides.

### a) Méthode de THORNTHWAITE

On calcule l'évapotranspiration potentielle par la méthode de Thornthwaite

$$ETP = 1.6(10T/I)^a \text{ avec } a : (1,6 I/100) + 0,5 \implies a = 2,06$$

I : somme des indices mensuels (i) avec :  $I = (T_m/5)^{1,514}$

T<sub>m</sub> : température moyenne mensuelle en (°C)

Les valeurs d'ETP non corrigées ainsi que les valeurs d'ETP corrigées sont reportées sur le tableau.12:

Tableau.12: Valeurs d'E.T.P

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	An
T(°c)	24,9	19,8	14,6	9,8	08,2	10,2	14,5	17,8	21,9	27,1	31,1	30,4	19,2
I	11,37	8,03	5,07	2,77	2,11	2,94	5,01	6,84	9,36	12,92	15,91	15,38	97,71
ETP non corrigée (cm)	10,99	6,85	3,66	1,61	1,12	1,75	3,61	5,50	8,44	13,08	17,38	16,58	90,57
Facteur de correction	1,03	0,98	0,88	0,87	0,89	0,86	1,03	1,08	1,19	1,19	1,21	1,15	12,36
ETP corrigée (mm)	113,20	67,17	32,20	14,01	9,92	15,03	37,16	59,45	100,39	155,71	210,24	190,66	1005,16

ETP annuelle corrigée = 1005,2mm

Cette méthode permet d'évaluer l'ETR et d'établir un bilan hydrique qui est représenté dans l'annexe.C.

On peut distinguer les cas suivants :

\*- **P > ETP** : dans ce cas l'ETR est égale à l'ETP et l'excédent des précipitations sur l'ETP est stocké dans le sol sous forme d'humidité.

Thornthwaite, admet que la saturation est atteinte lorsque les réserves superficielles cumulées atteignent 100mm d'eau. Le surplus va s'écouler en profondeur (infiltration) ou en surface vers les oueds (ruissellement) ce qui constitue l'excédent du bilan.

\*- **P < ETP** : l'ETR est égale aux précipitations du mois considéré. Le sol restitue l'eau emmagasinée jusqu'à épuisement des réserves.

Le stock épuisé, l'ETR=P. Comme l'ETP est plus forte par rapport à P, il y aura un déficit du bilan égal à ETP-ETR

### VI.3.Déficit d'écoulement

Le déficit d'écoulement est la différence entre la pluviométrie tombée sur un bassin versant et le total de la quantité d'eau écoulee, plusieurs méthodes ont été proposées pour le calcul du déficit.

### VI.3.1-Méthode de WUNDT

Wundt a établi un abaque permettant d'obtenir une valeur du déficit d'écoulement en fonction de la moyenne annuelle de la température et celle des précipitations. En utilisant l'abaque de WUNDT modifié par COUTAGNE (Fig.17).

Dans notre cas, nous obtenons pour  $P= 166,2$  mm et  $T= 19,2$  °C.

$D=210$  mm

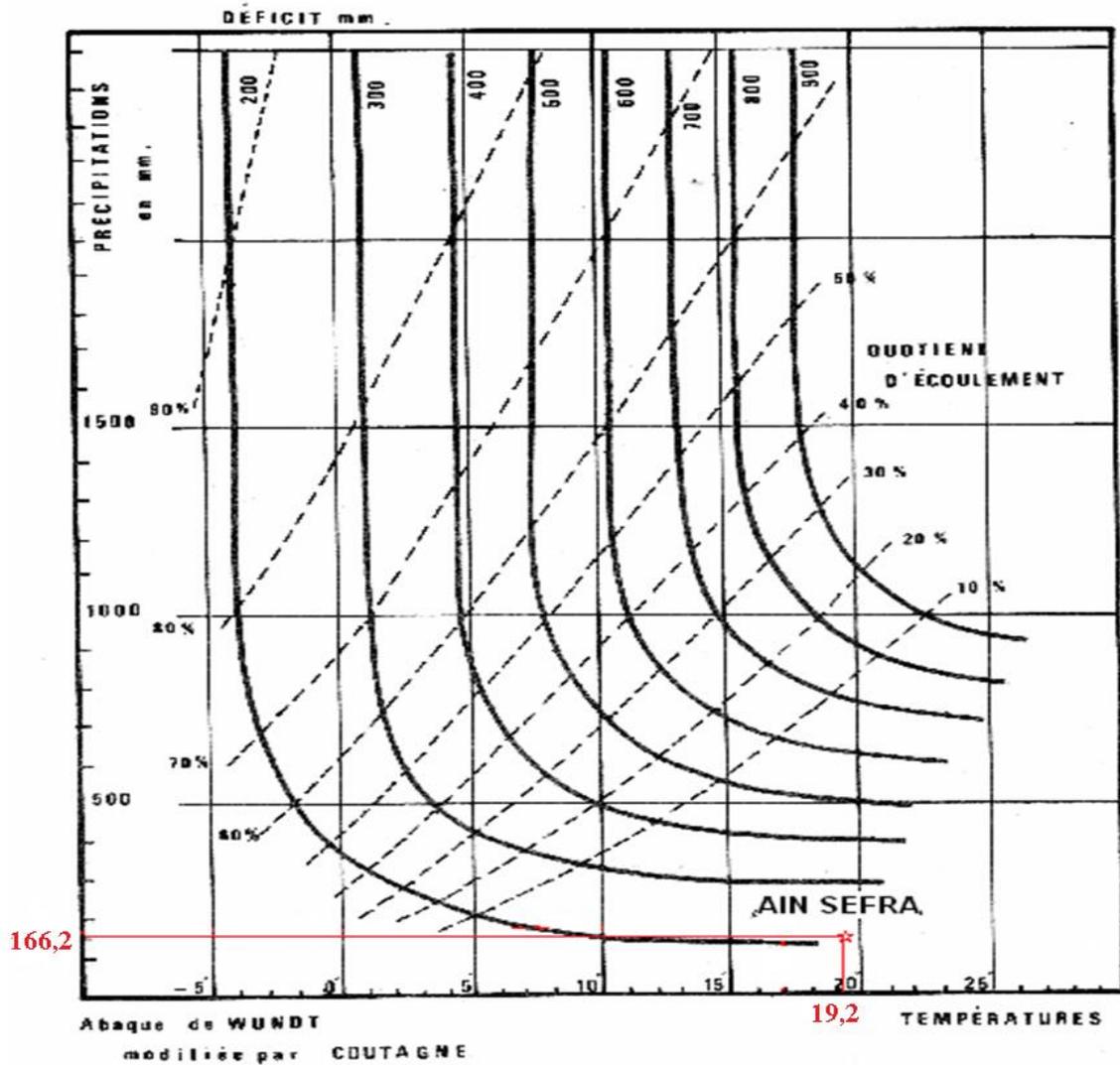


Fig.17: Evaluation du déficit d'écoulement d'après WUNDT

### VI.3.2.Méthode de P. VERDEIL

L'abaque de P. VERDEIL (fig.18) donne directement les valeurs du déficit d'écoulement (mm) en fonction des précipitations moyennes annuelles.

Pour la station d'Ain Sefra (1982-2013) le déficit d'écoulement est égal à 163mm soit 98,07 % des précipitations.

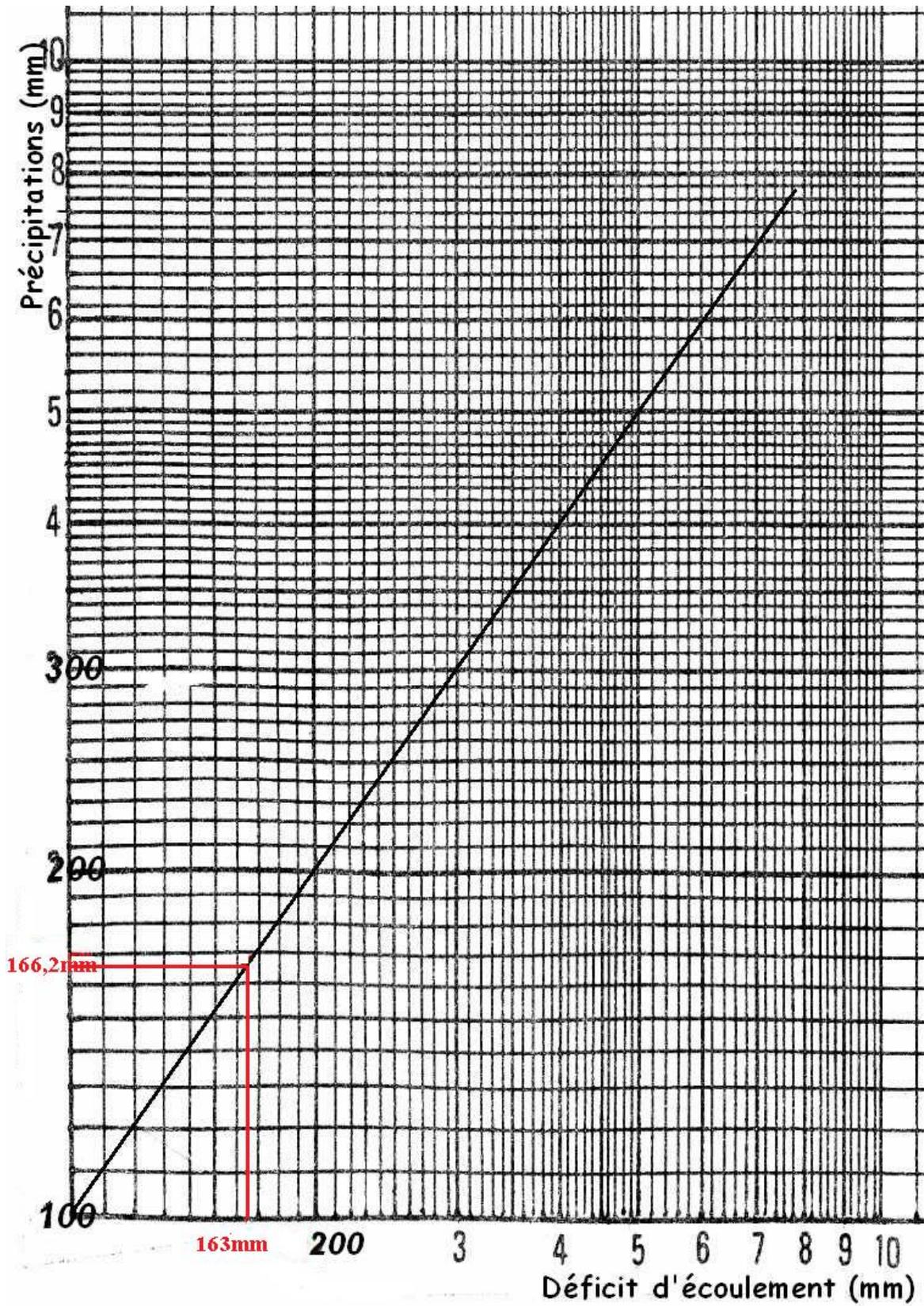


Fig.18: Abaque de VERDEIL (1988)

## VII-BILAN ENERGETIQUE :

Eléments du bilan :  $P = R + I + ETP$        $I = P - R - D$

P : précipitations = 166,2 mm = 0,166 m

R : ruissellement (mm)

I : infiltration (mm)

ETP : évapotranspiration potentielle = 1005,2 mm = 1,005m

D= déficit d'écoulement (abaque de VERDEIL) = 163mm.

### VII-1- Détermination des éléments du bilan (1982-2013)

#### a) Ruissellement

Sa valeur sera donnée par la relation de TIXERONT-BERKALOFF

$$R = \frac{P^3}{3ETP^3}$$

R = 0,055mm soit 0,033 % des précipitations.

#### b) Déficit d'écoulement

D = 163mm soit 98,07 % des précipitations.

#### c) Infiltration

$$I = P - D - R$$

I = 3,15 mm soit 1,90% des précipitations.

Tableau.13: Eléments du bilan

Eléments du bilan	(mm)	%
Ruissellement	0,055	0,03
Déficit	163	98,07
Infiltration	3,15	1,90

A l'issue de l'étude climatique de la station d'Ain Sefra réalisée sur une période allant de 1982-1983 à 2012-2013, on a aboutit aux résultats suivants :

- le secteur étudié est caractérisé par un climat désertique avec une température moyenne annuelle de 19,2°C et des précipitations moyennes annuelles de 166,2 mm.
- A l'échelle saisonnière, l'étude des précipitations montre que l'Automne (67,1 mm) est la saison la plus pluvieuse et l'Eté (21,1mm) la plus sèche.

- L'indice de DE MARTONNE montre que la région étudiée est soumise à un climat désertique.
- L'indice mensuel de MORAL montre que les mois de Septembre jusqu'à Mai sont caractérisés par un climat de type aride, les mois juin, juillet et août sont eux désignés par un climat de type sec.
- L'indice climatique d'EMBERGER présente un climat aride avec un hiver tempéré.
- D'après l'indice de continentalité de KERNER, on constate que les influences maritimes sont très faibles sur la région étudiée.
- Pour le calcul du déficit d'écoulement selon la méthode de P. VERDEIL, nous obtenons une valeur 163mm
- La détermination de ruissellement par la méthode TIXERONT-BERKALOFF a donné une valeur de 0,055 mm/an.et l'infiltration est égale à 3,15mm, soit 1,90% des précipitations.
- La méthode de THORNTHWAITE ne s'adapte pas aux conditions climatiques réelles de la région d'étude, car elles donnent des réserves de sol nulles (et donc pas d'infiltration et pas d'écoulement). Cela ne reflète pas la réalité, il serait plus judicieux d'utiliser un pas de temps journalier ou événementiel qui traduit mieux le comportement hydrologique dans ce type de climat.

## CHAPITRE IV : HYDROGEOLOGIE

## **I – INTRODUCTION**

La localité de Djenien Bourezg est alimentée en eau potable par la nappe des grès albiens cette exploitation est assurée par une série de forages.

Dans cette partie d'étude, nous tenterons essentiellement de comprendre l'hydrodynamisme du secteur étudié.

Pour cela nous avons effectué :

- Une campagne d'inventaire de points d'eau (Février 2014)
- L'établissement d'une carte piézométrique d'après les données de la campagne piézométrique effectué dans la région de Djenien Bourezg (Février 2014).
- L'interprétation des essais de pompage réalisés au forage de Djenien Bourezg (1).

## **II –LES UNITES AQUIFERES**

Les formations à matrice gréseuse dominant et sont souvent entrecoupées de bancs marneux ou quartzeux compacts, leur perméabilité reste donc très faible dans l'ensemble sauf pour les grès albiens.

Les zones aquifères de la région, à l'exception de l'albien ne sont pas très riches et les sources auxquelles ils donnent naissance, ainsi que les puits qui l'exploitent donnent des débits très faibles, on peut distinguer les niveaux aquifères suivants :

### **II.1 - Nappe du Jurassique**

Malgré l'importance des aires d'affleurement du Jurassique, aucune nappe d'importance notable n'a été mise en évidence. Il existe certes quelques points d'eau mais à débit faible à proximité du sommet de Mzi.

### **II .2 - Nappe du Barrémien**

Le Barrémien est une formation gréso-marneuse qui occupe généralement les dépressions topographiques, de perméabilité assez hétérogène, Cette formation se présente comme un réservoir assez important d'eaux souterraines exploité mais avec une qualité d'eau médiocre. (B. BAGHDADI, 2007).

### **II .3- Nappe albienne :**

C'est la seule importante nappe de la région. L'Albien occupe généralement les dépressions topographiques, facteur qui favorise l'alimentation de la nappe.

Son étendue est assez grande, de nombreux points d'eau l'exploitent.

Les grosses sources de la région constituent les exutoires naturels de cette nappe. L'albien se situe dans plusieurs bandes parallèles plus ou moins larges.

- **Conditions de l'alimentation de la nappe albienne :**

Selon plusieurs auteurs, les principales zones d'alimentation dans l'Atlas saharien occidental sont soit par ; l'infiltration directe de la pluie, soit par ruissèlement (crues des oueds). (GRANDAROWSKI, 1965).

*a- l'infiltration directe* : pour la formation albienne une partie de l'alimentation peut se faire par infiltration directe de la pluie. En effet, lorsque l'Albien affleure directement où qu'il est recouvert par les terrains quaternaires, la rétention de l'eau à travers le sol n'existe pas, mais il faut que l'intensité de la pluie soit suffisante pour que l'eau arrive à la nappe et échappe à l'évaporation directe (GRANDAROWSKI, 1965).

*b- Alimentation par ruissèlement (crues des Oueds)* : qui dévalent souvent très loin des massifs montagneux, lorsque les crues sont assez importantes et que les eaux arrivent à recevoir une certaine étendue de terrains perméables en ces zones d'épandage (GRANDAROWSKI, 1965).

Les fortes averses donnent naissance à un ruissèlement suffisant pour que l'eau s'accumule dans les dépressions.

L'étude géologique de surface et certains aspects qualitatifs des eaux de la nappe permettent de considérer un autre type d'alimentation régie essentiellement par des apports verticaux ou à travers des failles.

#### **II .4 - Nappe du Quaternaire**

Les dépôts alluvionnaires des principaux oueds constituent de bons réservoirs lorsque leur étendue et leur puissance sont importantes. C'est le cas d'Oued R'Mel qui a laissé en rive droite d'importants dépôts alluvionnaires qui contiennent une nappe exploitée dans le cadre de la mise en valeur (Dermel), d'une façon générale le niveau de la nappe phréatique se trouve entre 01 et 10m.

Les eaux servant à l'irrigation des jardins de Djenien proviennent des sources de « Ain Zarga » et « Ain Zouave ».

Le périmètre de Dermel exploitant la nappe alluviale est alimenté par l'oued de Dermel qui constitue un réservoir alimenté par oued Mizab, oued Dermel.

### **III. HYDRODYNAMIQUE**

#### **III.1- Piézométrie**

##### **III.1.1. Unité hydrogéologique de Moghrar**

D'après H. MANSOUR, 2007, la carte piézométrique établie au niveau de Moghrar (fig.21) fait ressortir une cuvette piézométrique, parfaitement dessinée, alimentée par l'inféro flux de l'oued Rhouiba descendant du Nord et par celui de l'oued Moghrar, drainant de l'Est les eaux du synclinal de Djenien El Oglat.

Au niveau de Djenien Bourezg, au droit de la faille du Djebel Ez Zerga, une ligne de partage des eaux souterraines permet de séparer le synclinal en lui conférant un écoulement vers le Sud ouest, parallèle à la zone de l'accident sud atlasique et un autre vers le Nord Est, drainé par l'inféro flux de Moghar Foukani.

La confluence entre l'oued Rhouiba et l'oued Moghrar donne naissance à l'oued Namous qui va à son tour drainer la cuvette piézométrique de Moghrar. On est donc en présence d'un bassin hydrogéologique dont les limites englobent le synclinal des Oglat, l'inféro flux de l'oued Rhouiba et la cuvette piézométrique de Moghrar.

Plus au Sud, sur le tracé de l'oued Namous, au droit de son intersection avec l'oued Far El Beguer (Chebket El Beïda), une perte, générée par une faille (la flexure sud atlasique), permet d'alimenter la plate forme saharienne, déchargeant ainsi une bonne partie des eaux souterraines du bassin hydrogéologique de Moghrar.

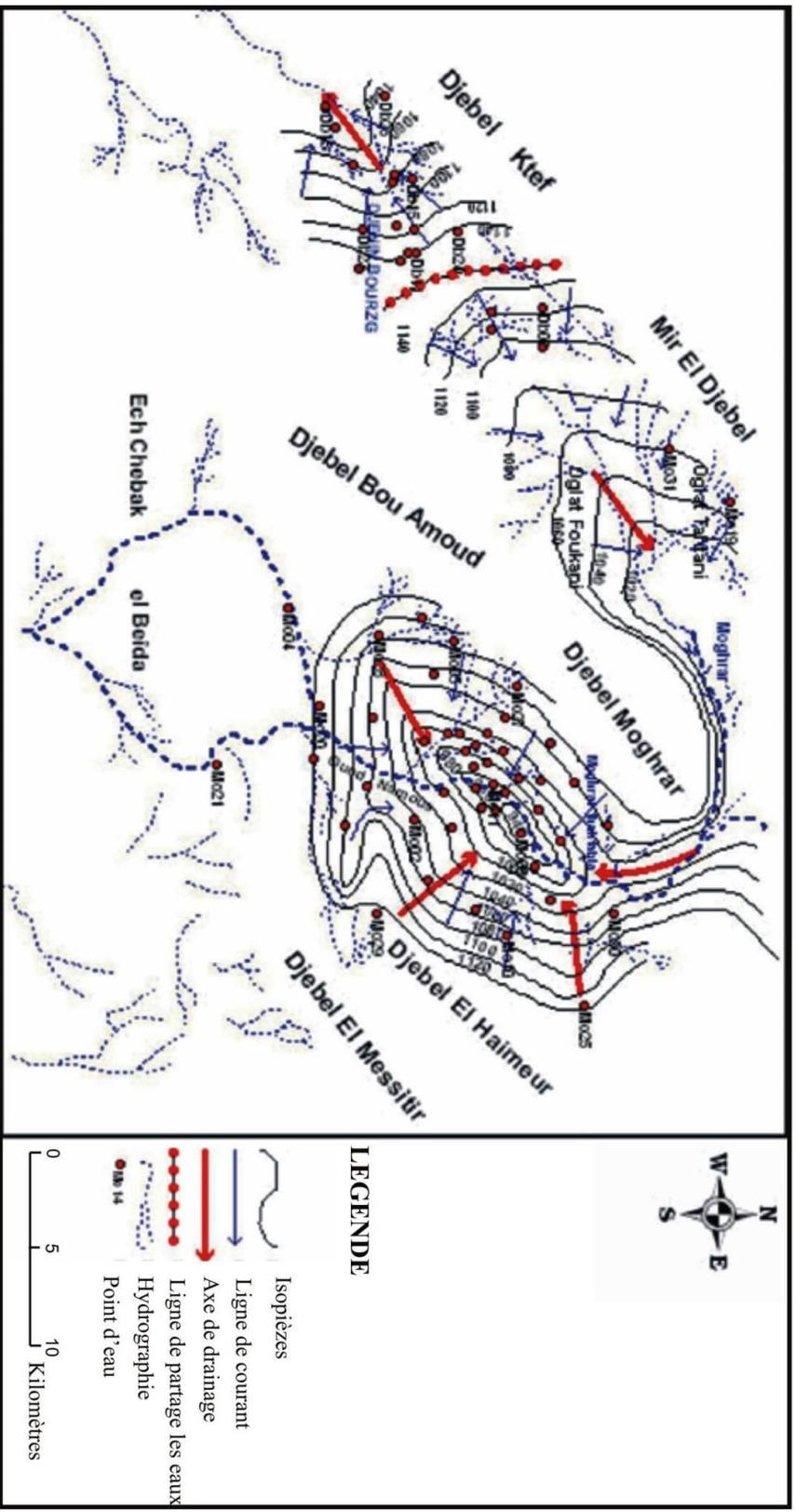


Fig. 21 : Carte piézométrique des cuvettes synclinales de Djinen Bourzeg et Mogharr (H. Mansour, 2007)

### III.1.2. Piézométrie du secteur d'étude

Nous avons réalisé une campagne piézométrique en Février 2014 à partir des points d'eaux (forage- puits) dans les grés albiens (Fig.22).

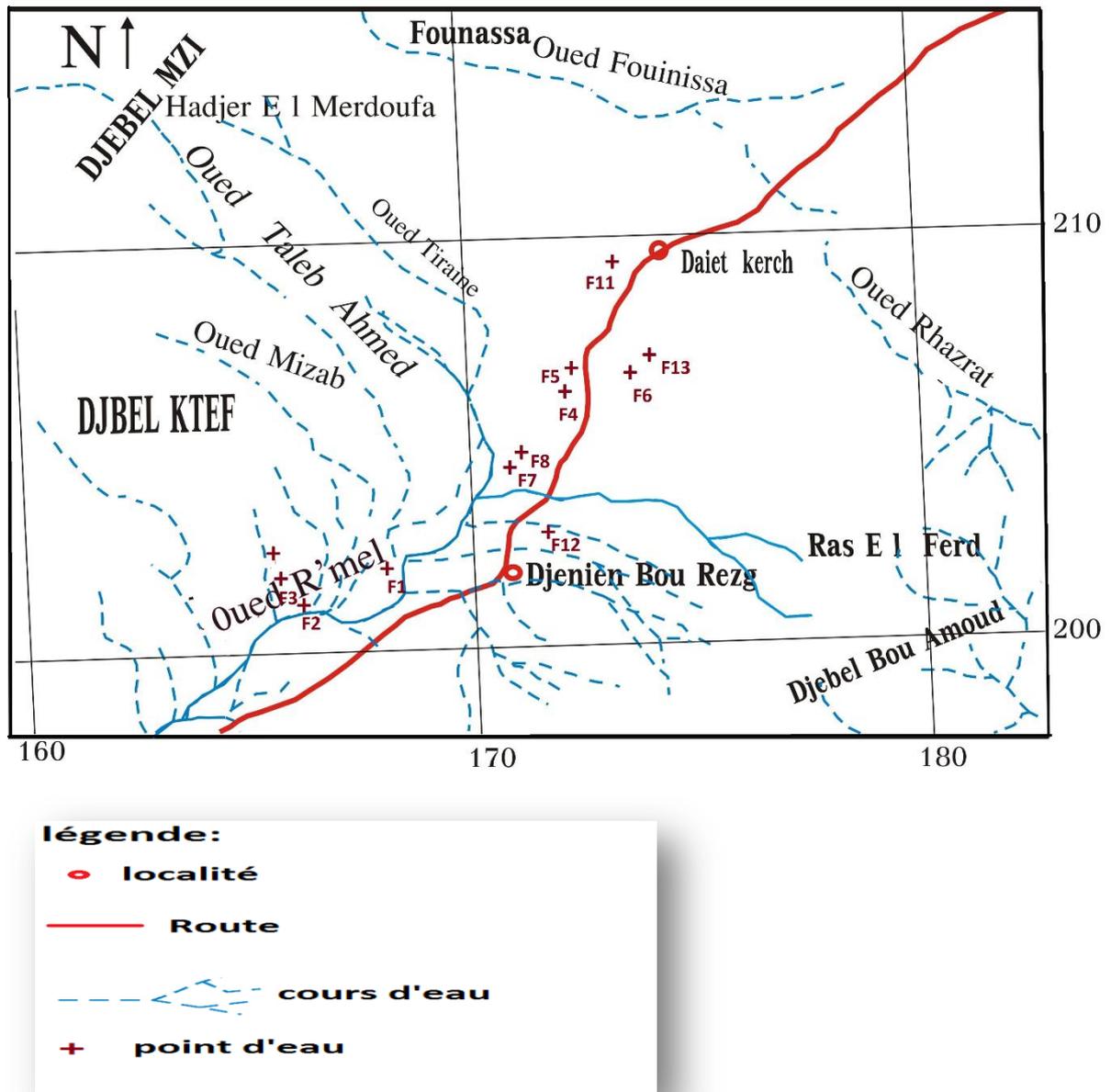


Fig.22: Carte d'inventaire des points d'eau (extrait de la carte topographique 1/250.000).

La nappe est représentée par des eaux circulant dans des terrains hétérogènes grésio-argileux plissés et affectés d'une fissuration (fig.23).

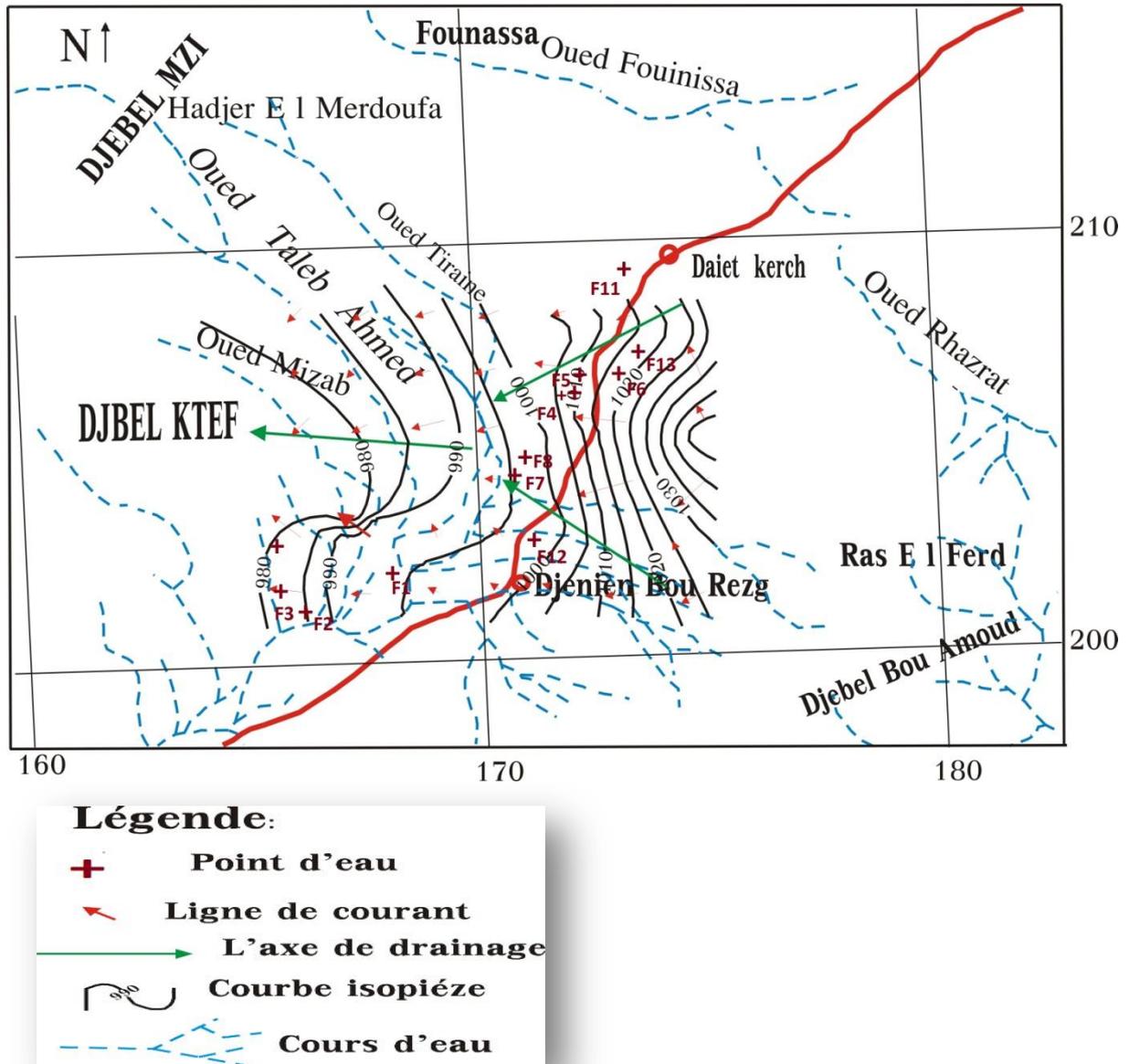


Fig.23: Carte piézométrique du secteur d'étude (Février 2014).(1/250.000)

### III.1.3. Interprétation de la carte piézométrique

A partir de la figure.23, nous pouvons distinguer l'existence de deux grands axes d'écoulement:

Le premier, de direction Nord Est – Sud Ouest et le second de direction Sud Est – Nord Ouest. Ces deux axes confluent et donnent un axe principal se dirigeant vers l'Ouest de la nappe.

### III.2. Détermination des caractéristiques hydrodynamiques

### **III.2.1. Généralités sur les pompages d'essais**

Les expérimentations, par pompage à débit constant sur les puits et sondages sont exécutées par des essais. Elles consistent à mesurer l'accroissement des rabattements du niveau piézométrique en relation avec le temps de pompage et leur remontée après arrêt de pompage.

Ces expérimentations sur le terrain, par puits et sondages, sont des tests portant sur les modifications du comportement hydrodynamique du complexe aquifère/ouvrage de captage.

Les essais par pompage poursuivent les buts suivants quatre buts, dans l'ordre croissant de complexité :

- La détermination des caractéristiques du complexe aquifère/ouvrage de captage.
- L'étude quantitative des caractéristiques particulières de l'aquifère, test des conditions aux limites, structure, hétérogénéité, drainance,...etc.
- L'observation directe, en «vraie grandeur», de l'effet de l'exploitation sur l'aquifère. Telle que la prévision de l'évolution des rabattements en fonction des débits pompés, l'évaluation de la ressource en eau souterraine exploitable.

Deux méthodes d'expérimentation et d'interprétation sont préconisées en relation avec le but poursuivi.

#### **III.2.1.1.Essai de courte durée :**

L'essai de puits par paliers de débit de courtes durée évalue les caractéristiques du complexe aquifère/ouvrage de captage. Ce sont : le débit critique, le débit spécifique relatif, les pertes de charge dans l'ouvrage et son environnement immédiat et le débit maximum d'exploitation ou productivité.

Cet essai est effectué en réalisant des paliers de débit, à débit constant pendant une courte durée déterminée, chaque palier de débit est suivi d'un arrêt de pompage d'une durée égale permettant la remontée du niveau d'eau.

#### **III.2.1.1.Essai de longue durée :**

Les pompages d'essai de longue durée sont exécutés par un seul palier de débit, à débit constant, prolongé durant au moins 42 heures, avec un optimum de 72 heures. La remontée des niveaux doit être observée pendant une durée égale.

Le pompage d'essai permet de mesurer les paramètres hydrodynamiques transmissivité (T) et coefficient d'emmagasinement (s) particuliers de l'aquifère, d'observer directement les variations du niveau d'eau en fonction du pompage et par conséquent l'évaluation des ressources en eau souterraine exploitable.

Dans cette partie de l'étude, nous procéderons à l'interprétation d'un pompage d'essai de courte et longue durée réalisé par l'A.N.R.H à l'endroit du forage Djenien Bourezg 1 (voir coupe du forage en annexe.(G))

### III.3.Essai de pompage dans le forage Djenien Bourezg(1)

#### III.3.1 Essai de pompage de courte durée

L'essai de pompage a été effectué avec quatre paliers à débit enchainés (tableau.13) pour fixer le débit d'exploitation, un essai de longue durée (72h) a été exécuté par la suite avec un débit de 25L /s

- Les résultats de l'essai de pompage sont représentés au tableau.13:

Niveau statique : 11.60m.

Tableau.13: Essai de pompage par paliers sur le forage Djenien Bourezg

Palier	Q (L/s)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Rabatement (m)	Niveau dynamique(m)
1 <sup>er</sup> palier	15	54	16,25	27.85
2 <sup>ème</sup> palier	20	72	22,1	33.70
3 <sup>ème</sup> palier	25	90	30,3	41.90
4 <sup>ème</sup> palier	30	108	44,6	56.20

#### III.3.1.1.Courbe caractéristique

La courbe débit - Rabatement (fig.24), représente la fonction  $s = f(Q)$ , sa forme apporte des informations sur le comportement hydrodynamique du complexe aquifère.

Le débit critique est lu graphiquement par une diminution brusque de la pente de la courbe calculée par l'abscisse du point A (point d'inflexion), il permet aussi la détermination du débit d'exploitation qui est fonction d'un rabattement maximum admissible.

- Le débit critique:  $Q_c = 23$  L/s.

- Le débit d'exploitation  $Q_e = Q_c - 5\% \implies Q_e \approx 21,50$  L/s.

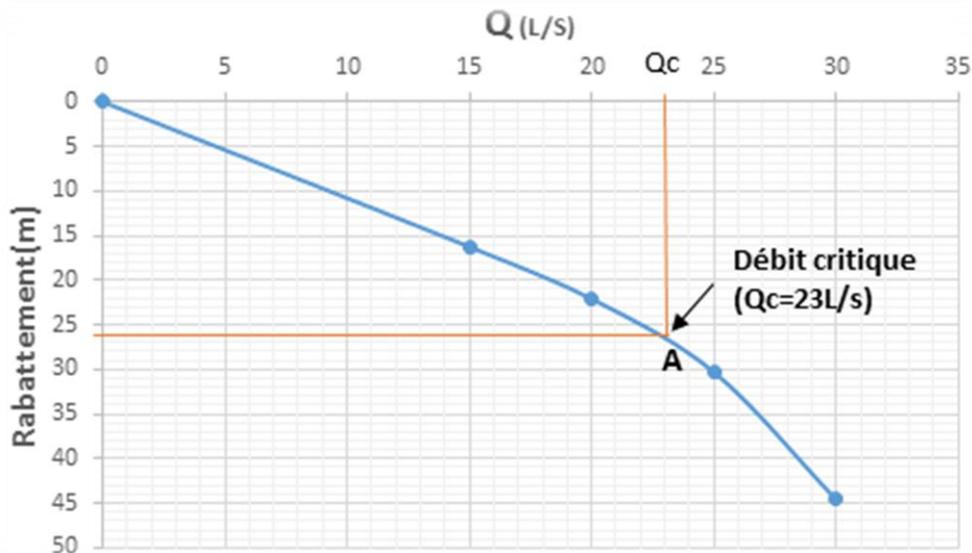


Fig.24: Courbe caractéristique  $S=f(Q)$

### III.3.1.2. Calcul du débit spécifique

Le débit spécifique ( $Q_s$ ) est le débit pompé (Q) rapporté au rabattement (s) dans le forage. Les résultats des essais globaux sont reportés au tableau suivant:

Tableau.14: Calcul du débit spécifique.

Palier	Q (L/s)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Rabattement (m)	Débit spécifique (m <sup>3</sup> /h.m)
1 <sup>er</sup> palier	15	54	16.25	3.32
2 <sup>ème</sup> palier	20	72	22.1	3.25
3 <sup>ème</sup> palier	25	90	30.3	2.97
4 <sup>ème</sup> palier	30	108	44.6	2.42

### III.3.1.3. Droite débit spécifique - rabattement

La droite inclinée, représentative de la fonction  $S = f(q_s)$  permet de calculer le débit spécifique relatif, qui correspond à un rabattement unitaire de (01 mètre).

Débit spécifique relatif =  $3.9 \text{ m}^3/\text{h.m}$ .

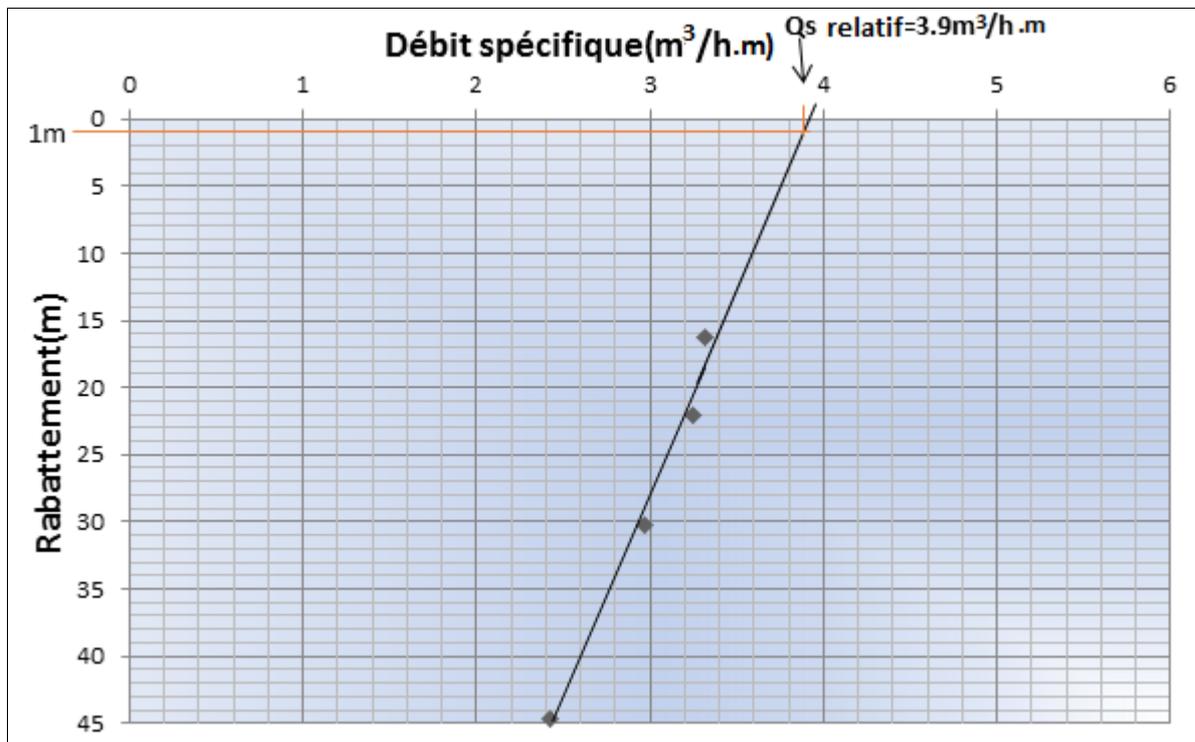


Fig.25: Droite débit spécifique - rabattement

### III.3.1.4. Droite débit - rabattement spécifique

Tableau.15: Calcul des rabattements spécifiques.

Palier	Débit (m <sup>3</sup> /h)	Rabattement résiduel (m)	Rabattement spécifique (m.h/m <sup>3</sup> )
1 <sup>er</sup> palier	54	16.25	0.300
2 <sup>ème</sup> palier	72	22.1	0.307
3 <sup>ème</sup> palier	90	30.3	0.337
4 <sup>ème</sup> palier	108	44.6	0.413

La droite débit- rabattement spécifique, permet de déterminer les coefficients B et C de l'équation  $S/Q = B + CQ$  d'où  $S = BQ + CQ^2$

B : coefficient obtenu par l'intersection de la droite représentative avec l'axe des rabattements spécifiques.

$$B = 0.17$$

C : indice de Walton.

$$C = \text{tg } \alpha = \frac{a}{b} = \frac{0.1}{13} = 0.0076$$

L'équation de la droite représentative s'écrit :  $S = 0.17Q + 0.0076Q^2$

Le rabattement correspondant à chaque palier de débit est calculé par cette expression, les valeurs obtenues, portées sur le graphique débit - rabattement, se superpose parfaitement à la courbe observée.

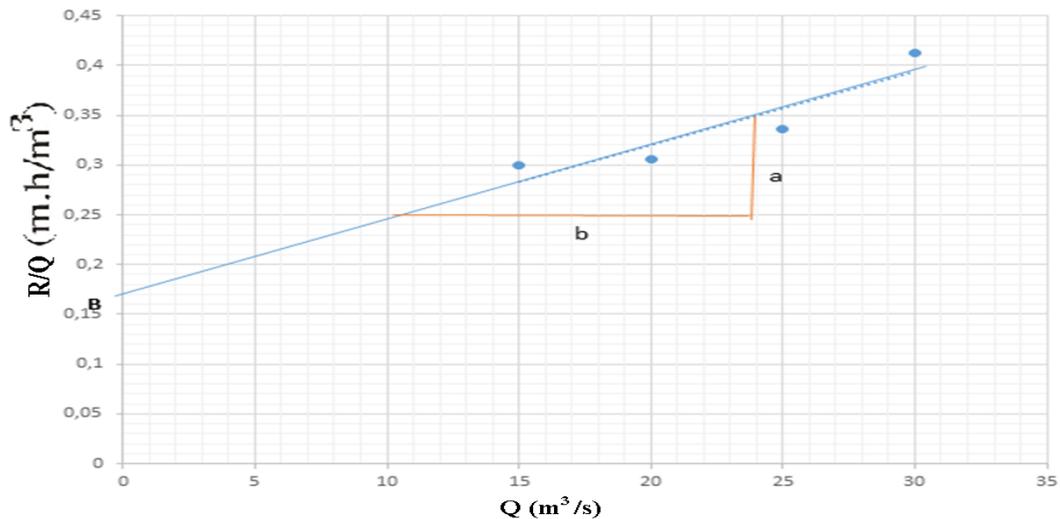


Fig.26: Droite débit - rabattement spécifique.

### III.3.1.5. Calcul des pertes de charges.

- Perte de charge linéaire provoquée par l'écoulement laminaire dans l'aquifère au voisinage du puits notée (BQ), elle est calculée par l'expression suivante:  $S = BQ$

- Perte de charge quadratique, non linéaire provoquée par l'écoulement turbulent dans l'ouvrage de captage notée ( $CQ^2$ ): elle est donnée par la relation :  $S = CQ^2$

Tableau.16: Calcul des pertes de charge.

Paliers	Débits $M^3/h$	Rabattements résiduels (m)	pertes de charge	
			Linéaire BQ	Quadratique $CQ^2$
1	54	16.25	9.18	22.16
2	72	22.1	12.24	39.39
3	90	30.3	15.3	61.56
4	108	44.6	18.36	88.64

### III.3.2. Essai de Nappe (Essai de pompage de longue durée)

Un pompage de longue durée à débit constant (25 L/S) a été exécuté avec un seul palier de débit, prolongé durant 72 heures, suivi d'un arrêt, cet essai permet de déterminer les paramètres T, S. Les résultats sont représentés aux tableau-E-et -F- en annexe.

Pour l'interprétation de cet essai, nous avons utilisé la méthode de de JACOB qui consiste à reporter sur un graphique semi logarithmique le rabattement (s) en fonction du temps :  $s = f(\log(t))$ , à un point donné (puits ou piézomètre).

On peut également reporter sur le même graphique la remontée  $S = f(\log(t_p/t_r+1))$ .

**III.3.2.1. Droite de descente :** La formule de JACOB s'écrit :

$$S = \frac{0,183}{T} Q \log \frac{2,25}{r^2 S} T \cdot t$$

$r$  : distance du piézomètre à l'axe du puits (m).

$t$  : temps de pompage (mn).

$S$  : coefficient d'emmagasinement.

L'équation de JACOB est celle d'une droite de la forme  $Y = ax + b$ .

$$a = \frac{0,183}{T} Q$$

La pente sera est égale aussi à :

$$a = \frac{S_2 - S_1}{\log t_1 - \log t_2}$$

Pour un cycle logarithmique  $t_2 = 10t_1$

$$\log t_2 - \log t_1 = 10 \log t_1 - \log t_1 = \log 10 \log t_1 / t_1 = \log 10 = 1$$

Ainsi la pente sera égale à :  $a = S_2 - S_1 = C$ . On déduit

$$\text{La Transmissivité : } T = \frac{0,183}{C} Q \text{ et le coefficient d'emmagasinement : } S = \frac{2,25 T t_0}{r^2}$$

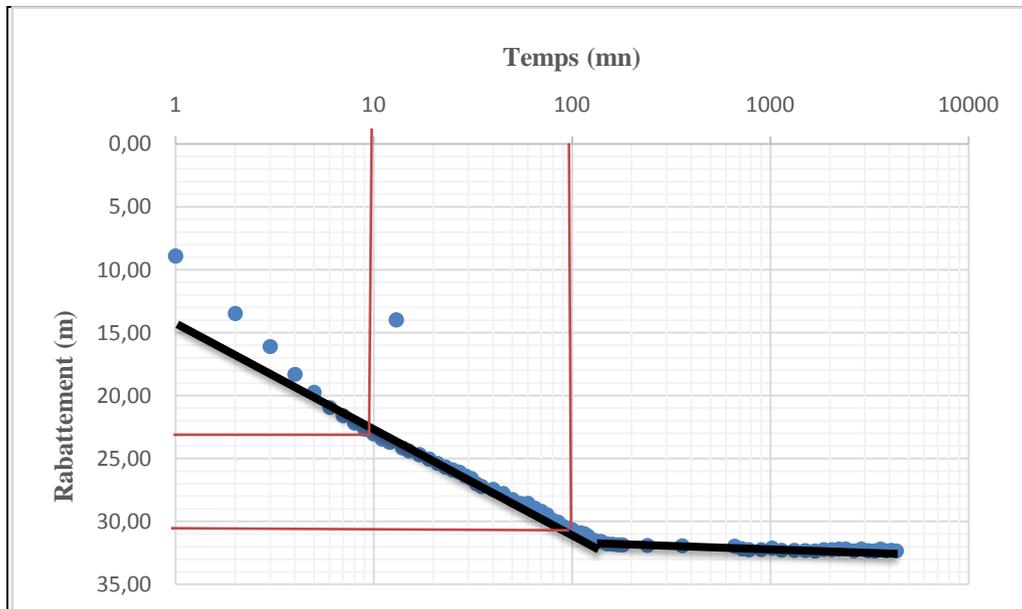


Fig.27: Courbe de descente forage Djenien Bourezg (01).

$$C = \frac{S_2 - S_1}{\log 10^2 - \log 10} = \frac{30,66 - 23,25}{1} = 7,41m$$

$$T = \frac{0,183 (0,025)}{7,41} = 6,17 \cdot 10^{-4} m^2/s$$

$$Q = 25 \text{ L/s} = 0,025 \text{ m}^3/\text{s}$$

La Transmissivité dans le forage de Bourezg(01)

$$T = 6,17 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

### III.3.2.2.Droite de la remontée :

$$T = 0,183 (0,025) / 8 = 5,71 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

La Transmissivité calculée à partir des données de la remontée  $T = 5,71 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ .

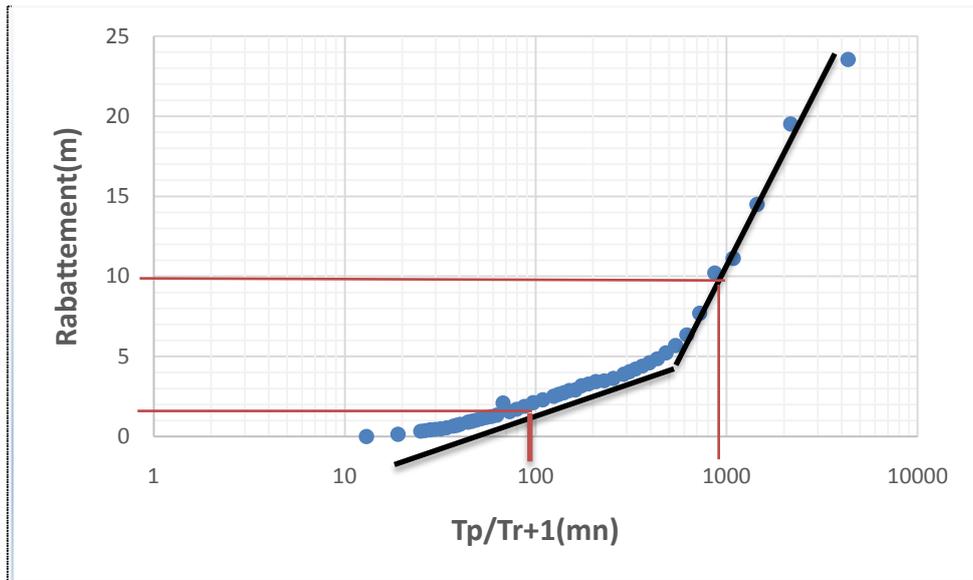


Fig.28: Courbe de remontée forage Djenien Bourezeg (01)

La transmissivité moyenne serait  $T = 5,94 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$

## CHAPITRE V : HYDROCHIMIE

## I. INTRODUCTION

L'analyse de la chimie des eaux constitue un complément indispensable à l'étude hydrogéologique des nappes et à la gestion des ressources en eau. En effet, la chimie des eaux souterraines est fonction de nombreux paramètres tels que:

- le type d'alimentation,
- La répartition quantitative des différents éléments chimiques dans l'eau.
- la nature des terrains traversés.
- le temps de séjour.
- la profondeur de la nappe, etc.

Le choix du lieu de prélèvement des échantillons est basé sur la répartition spatiale des différents points d'eau de façon à couvrir tout le secteur étudié.

Les analyses ont été faites par l'A.N.R.H d'Oran sur les eaux de deux échantillons à savoir : le forage (F11) Daiet kerch et le forage (F12) Bourezg (1).

Nous avons aussi eu l'occasion de mesurer quelques paramètres d'autres échantillons in situ lors de la campagne piézométrique (Annexe Tableau-H-).

## II- INTERPRETATION DES ANALYSES

### II.1-Contrôles des analyses physiques :

#### II.1.1. Balance ionique

Les analyses peuvent être contrôlées par la balance ionique, cette balance permet de déterminer le pourcentage d'erreur à l'aide de la relation suivante :

$$B.I. = \frac{|\sum r^+ - \sum r^-|}{|\sum r^+ + \sum r^-|} \cdot 100$$

Avec:

$\sum r^+$ : Somme des concentrations des cations (meq/L),

$\sum r^-$  : Somme des concentrations des anions (meq/L).

A partir des valeurs de B.I (%), on distingue :

$B.I < 2\%$   $\implies$  bonne analyse

$2\% < BI < 5\%$   $\implies$  analyse acceptable

$BI > 5\%$   $\implies$  mauvaise analyse

Les résultats des analyses chimiques effectués sur les échantillons prélevés dans les différents points d'eau sont portés en annexe (Tableau-G-).

Tableau.17 : Résultats de la Balance Ionique

Nom du forage	BI (%)	Type d'analyse
(F11) Daiet Kerch	04	Analyse acceptable
(F12) Bourezg (1)	02	Bonne analyse

## II.2- INTERPRETATION DES RESULTATS D'ANALYSES

### II.2-1.1.Paramètres organoleptiques

Les caractères organoleptiques sont des paramètres qui doivent être appréciés au moment du prélèvement: certaines odeurs peuvent, par exemple, disparaître pendant le transport, ou l'aspect de l'échantillon se modifier au cours du transport et du stockage (apparition d'une coloration, de précipité, etc.).

- a) La couleur: la couleur de l'eau de boisson est généralement due à la présence de substances organiques colorées (principalement des acides humiques et fulviques) provenant d'humus du sol. Toutes les eaux prélevées et analysées du secteur d'étude sont incolores.
- b) L'odeur: généralement, les odeurs proviennent, soit des produits chimiques, soit de la matière organique en décomposition, soit des protozoaires, soit des organismes aquatiques. L'odeur due à la présence simultanée dans l'eau de plusieurs produits peut être plus intense que la somme des odeurs dues à chaque constituant.  
Les tests de la matière organique, ammonium, phosphates, nitrates et les nitrites n'ont donné aucun résultat remarquable des forages de la région étudiée.
- c) Le goût: d'une façon générale, il est bien difficile de porter un jugement sur la qualité d'une eau par la seule évaluation de la saveur. En dehors de la salinité, une saveur désagréable peut révéler la présence de substances indésirables dont il importera de préciser l'origine. C'est le cas en particulier de certaines saveurs amères, douces et sucrées

décelables à la dégustation et du goût imputable à des concentrations très faible de substances fortement sapides.

Dans le cas des eaux de la région de Djenien Bourezg , la seule saveur constatée est celle de la minéralisation, surtout pour les eaux qui ont une conductivité supérieure à 1.5 mS/cm.

## II.2.2.Paramètres physiques

### II.2.1.Température

La température joue un rôle très important dans la mobilité des sels et des gaz, donc sur la conductivité électrique, elle permet de différencier les eaux qui circulent en profondeur ou le mélange éventuel entre les eaux.

L'augmentation de la température est fonction de la profondeur (1°C pour 33m).

La mesure de la température se fait sur le terrain à l'aide d'un thermomètre.

Dans notre région la température des eaux varie entre 20°C en hiver et 22°C en été.

### II.2.2.Potentiels d'hydrogène (pH)

Le pH correspond à la concentration d'ion hydrogène  $[H^+]$ , il mesure l'acidité ou la basicité d'une eau,  $pH = \log [1/ [H^+]]$ , sa valeur varie en fonction de l'action de la force ionique :

Tableau.18: Classification des eaux naturelles en fonction du pH

pH < 5	Acidité forte (présence des acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles)
pH = 7	Milieu neutre
7 < pH < 8	Neutralité approchée (majorité des eaux de surface)
5.5 < pH < 8	Majorité des eaux souterraines
pH = 8	Alcalinité forte, évaporation intense

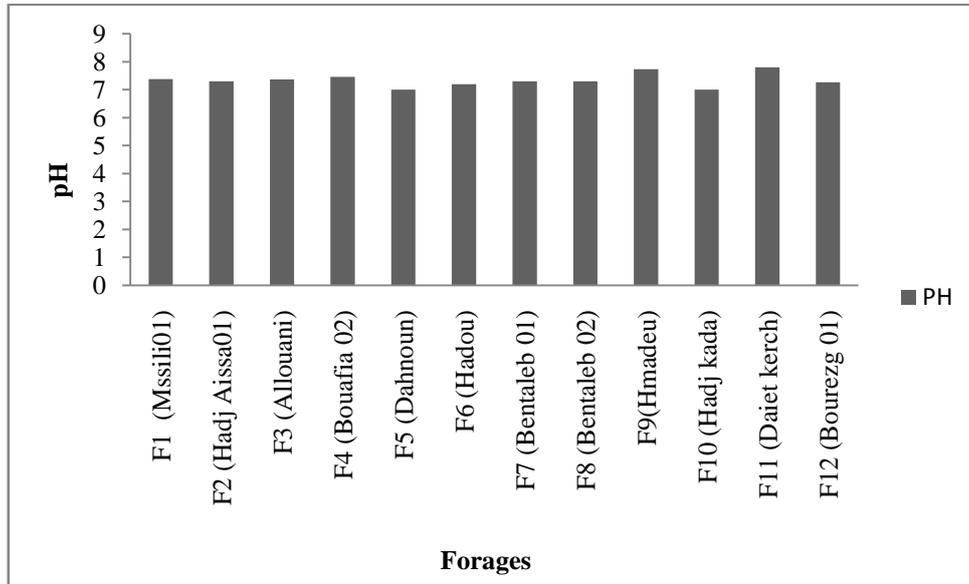


Fig.29: Valeurs du pH des eaux de la région d'étude

Dans notre région, les valeurs du pH varient entre 7 et 8 ce qui révèle une certaine neutralité des eaux.

### II.2.3. Résidu sec

Exprimé en gramme par litre (g/L) ou milligramme par litre (mg/L), il représente la minéralisation totale de l'eau, c'est-à-dire la totalité des sels dissous et la matière organique contenus dans l'eau.

Cette teneur en résidu sec est liée à :

- la nature lithologique des formations.
- les rejets des eaux usées d'origine industrielle.

La valeur limite du résidu sec dans une eau destinée à la consommation humaine est fixée à 2000 mg/L selon les normes algériennes (N.A 6360.1992)

Les deux valeurs du résidu sec dans notre région d'étude sont 621-660 mg/L, ce sont des valeurs moyennes.

### II.2.4. Conductivité électrique

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de  $1 \text{ cm}^2$  de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique (J. RODIER, 1984).

L'unité de conductivité est le Siemens par mètre (S/m). Elle s'exprime généralement en micro Siemens par centimètre ( $\mu\text{S} / \text{cm}$ ).

La conductivité électrique est un moyen important d'investigation en hydrogéologie. Sa mesure est précise et rapide et sa variation est liée à la nature des sels dissous et leur concentration.

La mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement, mais approximativement la minéralisation globale de l'eau (J.RODIER, 1984).

Le tableau suivant donne la relation entre la conductivité et la minéralisation des eaux (J.RODIER, 1984).

Tableau.19 : Relation entre la conductivité et la minéralisation

Conductivité ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Minéralisation (mg/L)
Conductivité <100	Très faible
100 < Conductivité < 200	Faible
200 < Conductivité < 333	Moyenne
333 < Conductivité < 666	Moyenne à accentuée
666 < Conductivité < 1000	Importante
Conductivité > 1000	Elevée

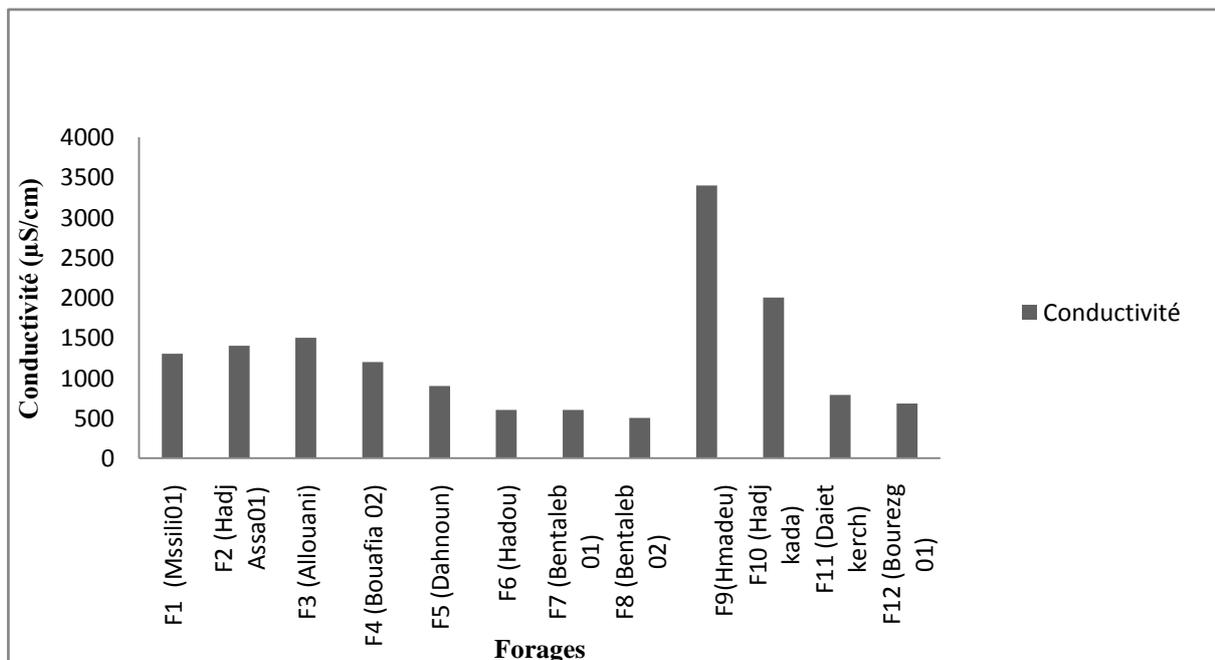


Fig.30: Evolution de la conductivité électrique des eaux de la région d'étude.

## II.2.5. Minéralisation globale

La minéralisation en teneur globale des sels minéraux a été calculée à partir de la conductivité.

Le tableau qui suit permet de calculer la minéralisation à partir de la conductivité.

Tableau.20: Calcul de la minéralisation à partir de la conductivité (J.Rodier1984)

Conductivité ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Minéralisation (mg/L)
Conductivité inférieure à 50	$1,365079 \times \text{conductivité (*)}\mu\text{S}/\text{cm}$ à $20^\circ\text{C}$
Conductivité comprise entre 50 et 166	$0,947658 \times \text{conductivité (*)}\mu\text{S}/\text{cm}$ à $20^\circ\text{C}$
Conductivité comprise entre 166 et 333	$0,769574 \times \text{conductivité (*)}\mu\text{S}/\text{cm}$ à $20^\circ\text{C}$
Conductivité comprise entre 333 et 833	$0,715920 \times \text{conductivité (*)}\mu\text{S}/\text{cm}$ à $20^\circ\text{C}$
Conductivité comprise entre 833 et 10000	$0,758544 \times \text{conductivité (*)}\mu\text{S}/\text{cm}$ à $20^\circ\text{C}$
Conductivité supérieure à 10000	$0,850432 \times \text{conductivité (*)}\mu\text{S}/\text{cm}$ à $20^\circ\text{C}$

(\*) x 1,116 pour  $25^\circ\text{C}$

Les résultats de calcul de la conductivité de nos échantillons sont consignés sur le tableau.21.

Tableau.21: Résultats du calcul de la minéralisation à partir de la conductivité.

Point d'eau	Conductivité ( $\mu\text{S} / \text{cm}$ ).	Minéralisation (mg/L)
F1 (Mssili 01)	1300	986.10
F2 (Hadj Aissa01)	1400	1061.96
F3 (Allouani)	1500	1137.81

F4 (Bouafia 02)	1200	910.25
F5 (Dahnoun)	900	682.68
F6 (Hadou)	600	429.55
F7 (Bentaleb 01)	600	429.55
F8 (Bentaleb 02)	500	357.96
F9(Hmadeu)	3400	2579.04
F10 (Hadj kada)	2000	1517.08
F11 (Daiet kerch)	790	565.57
F12 (Bourezg 01)	680	486.82

Pour la nappe du Crétacé inférieur de la région d'étude, les valeurs de la conductivité varie entre 0.5mS/cm et 3.4mS/cm. Ceci indique une minéralisation très importante avec une valeur maximale de 2579.04mg/L au niveau du forage Hmadeu. Cette augmentation est due à la présence des formations diapiriques triasiques affleurant à Djebel Zerigat constituées d'argiles bariolées à gypse ainsi que quelques affleurements de roches vertes éruptives (ophites) associées à des marnes et argiles bariolées.

On peut classer la minéralisation dans la région de notre secteur d'étude en 03 catégories :

Tableau.22: Classification de la minéralisation des eaux du secteur d'étude

Conductivité ( $\mu\text{S} / \text{cm}$ )	Minéralisation	Forage
$333 < C < 666$	Moyennement accentuée	F6-F7-F8
$666 < C < 1000$	Importante	F5-F11-F12
$C > 1000$	Elevée	F1-F2-F3-F4-F9-F10

Dans le but de suivre l'évolution spatiale de la minéralisation des eaux de la nappe, on a établi une carte d'iso-valeurs de la conductivité électrique (fig.31). Celle-ci montre que les valeurs de la conductivité électrique augmentent en allant vers le Sud Ouest, pour atteindre un maximum de l'ordre de 3,4 mS/cm. cette augmentation est probablement causée par des remontées triasiques le long des failles majeures.

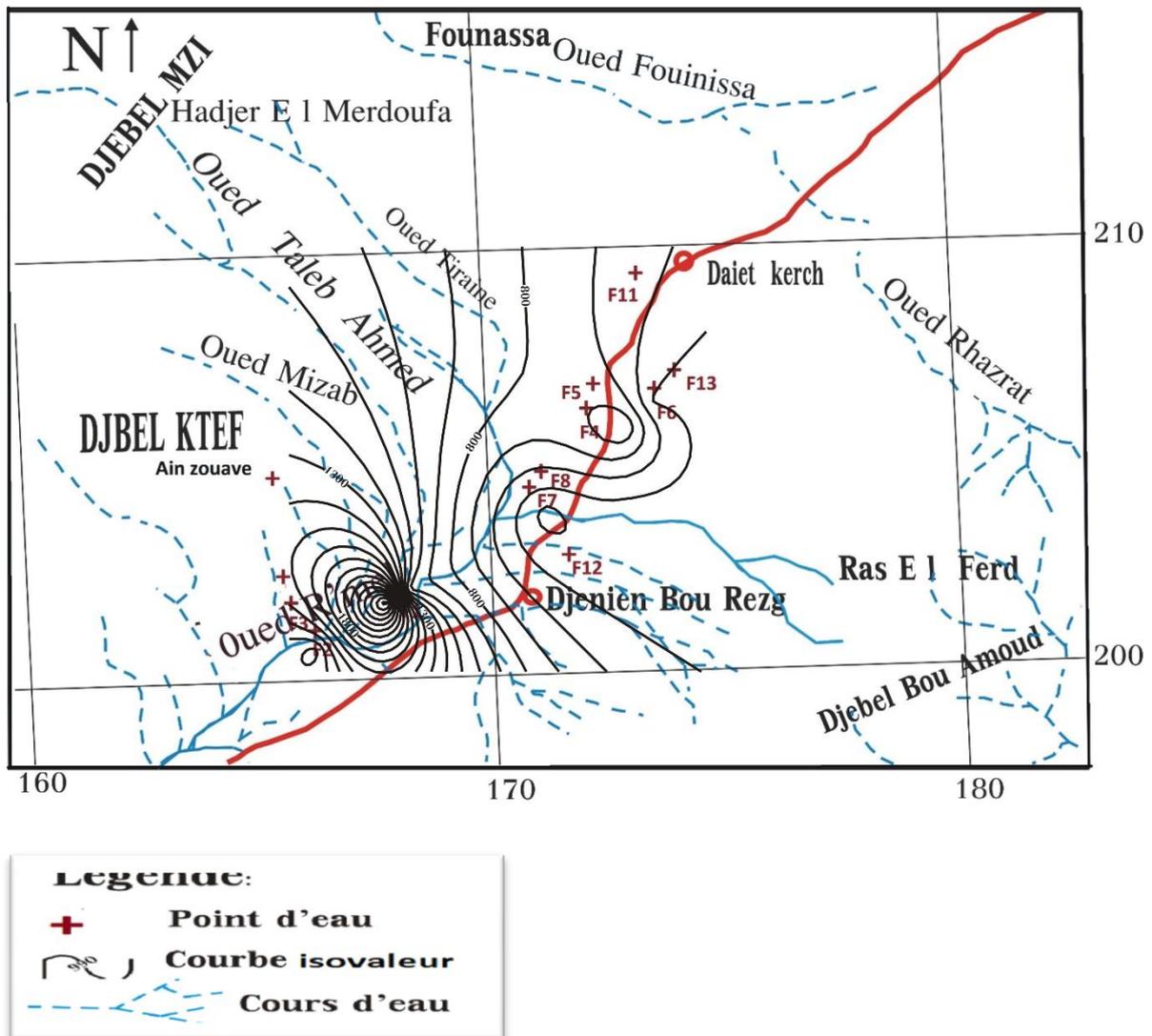


Fig.31 : Carte d'iso- valeurs de la minéralisation en (mg/L). e : 1/250.000

### III. Paramètres chimiques

#### III.1 Qualité des eaux

##### III.1.1 Normes de potabilité

Les normes algériennes (N.A6360-1992) sont inspirées de l'organisation mondiale de la santé (O.M.S) relatives aux eaux et des normes prescrites dans les directives de la Communauté Economique Européenne (C.E.E).

La présente norme a pour objet de fixer la spécification organoleptique, physico-chimique et toxicologique des eaux destinées à la consommation.

L'eau de notre région d'étude répond en général aux conditions de la norme algérienne, la plus part des points des eaux prélevés sont potables exception faite pour le forage de Hmadeu (F9).

Tableau.23: Potabilité des eaux selon les normes algériennes.

Paramètre	Niveau guide	concentration maximale admissible	Unité	Résultat des analyses chimiques	
<i>Paramètres physico-chimiques</i>				<i>eau potable</i>	<i>eau non potable</i>
				toutes les eaux potables	
pH	6.5	8.5	-		/
Conductivité		2880	µS/cm	toutes les eaux potables sauf F9	F9
Résidu*****u sec (180°C)		2000	mg/L	F11-F12	/
Calcium	75	200	mg/L	F11-F12	/
Magnesium		150	mg/L	F11-F12	/
Chlorures		500	mg/L	F11-F12	/
Sulfates		400	mg/L	F11-F12	/
Nitrates		50	mg/L	F11-F12	/

### III.1.2 Dureté totale TH

La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques à l'exception de ceux des métaux alcalins et de l'ion hydrogène. Dans la plupart des cas la dureté est surtout due aux ions calcium et magnésium auxquels s'ajoutent quelquefois les ions: fer, aluminium, manganèse, strontium. Elle s'exprime en milliéquivalents de concentration en CaCO<sub>3</sub>.

$$TH = r (Ca^{++} + Mg^{++}) 5 \text{ } ^\circ F$$

On utilise le degré français qui correspond à  $0.2 \text{ meq.L}^{-1}$

La dureté acceptable pour une eau de bonne qualité chimique selon l'O.M.S est comprise entre  $15^\circ F$  et  $40^\circ F$ .

On peut classer les eaux en fonction de leur dureté:

Le tableau ci-dessous donne le TH en  $^\circ F$  avec la dureté des différents points d'eau

Tableau.24: Potabilité des eaux en fonction de la dureté

TH ( $^\circ F$ )	0-7	7-22	22-32	32-54	>54
Qualité d'eau	Douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très dure

Les résultats de la dureté totale des différents points d'eau sont reportées dans le tableau qui suit:

Tableau.25: Classification de la qualité d'eau à partir de la dureté totale.

Echantillon	Daiet Kerch (F11)	(F12) Bourezg (1)
TH ( $^\circ F$ )	36.83	30.25
Qualité de l'eau	Dure	Assez douce

D'après les tableaux.24 et 25 pour le calcul de la dureté totale calculée pour les deux échantillons, nous pouvons dire que les eaux de la région selon ces deux points peuvent être assez douces à dures.

### III.2 Aptitude des eaux à l'irrigation

Les critères d'eau d'irrigation dépendent du type de sol, des plantes, des conditions climatiques et de la qualité chimique de l'eau. Le degré de salinité de l'eau d'irrigation est généralement exprimé par des classes de convenance relative: une eau très minéralisée peut présenter un danger de salinisation et d'alcalinisation des sols par remplacement des ions de calcium et de magnésium par l'ion de sodium.

L'aptitude des eaux à être utilisées pour l'irrigation, peut être évaluée par un certain nombre de coefficients plus ou moins fiables parmi lesquels :

- Sodium adsorption ratio (S.A.R).
- Le pourcentage en sodium (% Na).

### III.2.1.Sodium adsorption ratio (S.A.R):

La méthode du taux d'absorption de sodium mis au point en 1969 par: Geological Survey Institute a été appliquée. Le S.A.R est donné par la formule (tableau.26)

$$S.A.R. = \frac{rNa^+}{\sqrt{(rCa^{2+} + rMg^{2+})/2}}$$

La concentration de chaque ion est exprimée en meq/L et selon le taux d'absorption de sodium (S.A.R), on a la classification suivante :

- SAR <10 : eau à faible danger d'alcalinisation des sols (eaux excellentes).
- 10 < SAR < 18 : eau avec un danger d'alcalinisation assez appréciable (eaux bonnes).
- 18 < SAR < 26 : eau avec un danger d'alcalinisation important (eaux convenables).
- SAR >26: eau présentant un danger d'alcalinisation très fort (eaux médiocres).

Tableau.26: Valeurs du SAR et la qualité de l'eau pour les deux points d'eau

Forage	S.A.R
F11	0.76
F12	1.29

D'après le tableau.26, nous constatons que les deux points d'eau F11 ainsi que F12 présentent un faible danger d'alcanisation des sols (SAR<10).

### III.2.2.Le pourcentage du sodium (classification de WILCOX)

Il est connu que le développement des plantes est très faible ou nul dans les sols saturés en sodium. Les études menées par WILCOX sur cette question ont abouti au diagramme de la (fig.32).

Nous avons jugé intéressant d'utiliser la classification de « WILCOX » fondée sur la conductivité électrique et le pourcentage du sodium soluble dans l'eau (LOUVRIER, 1976), pour examiner ce problème.

Le pourcentage du sodium peut être défini comme suit :

$$\% Na = \frac{Na^+ + K^+}{Na^+ + K^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+}} \cdot 100$$

Exprimé en meq/L.

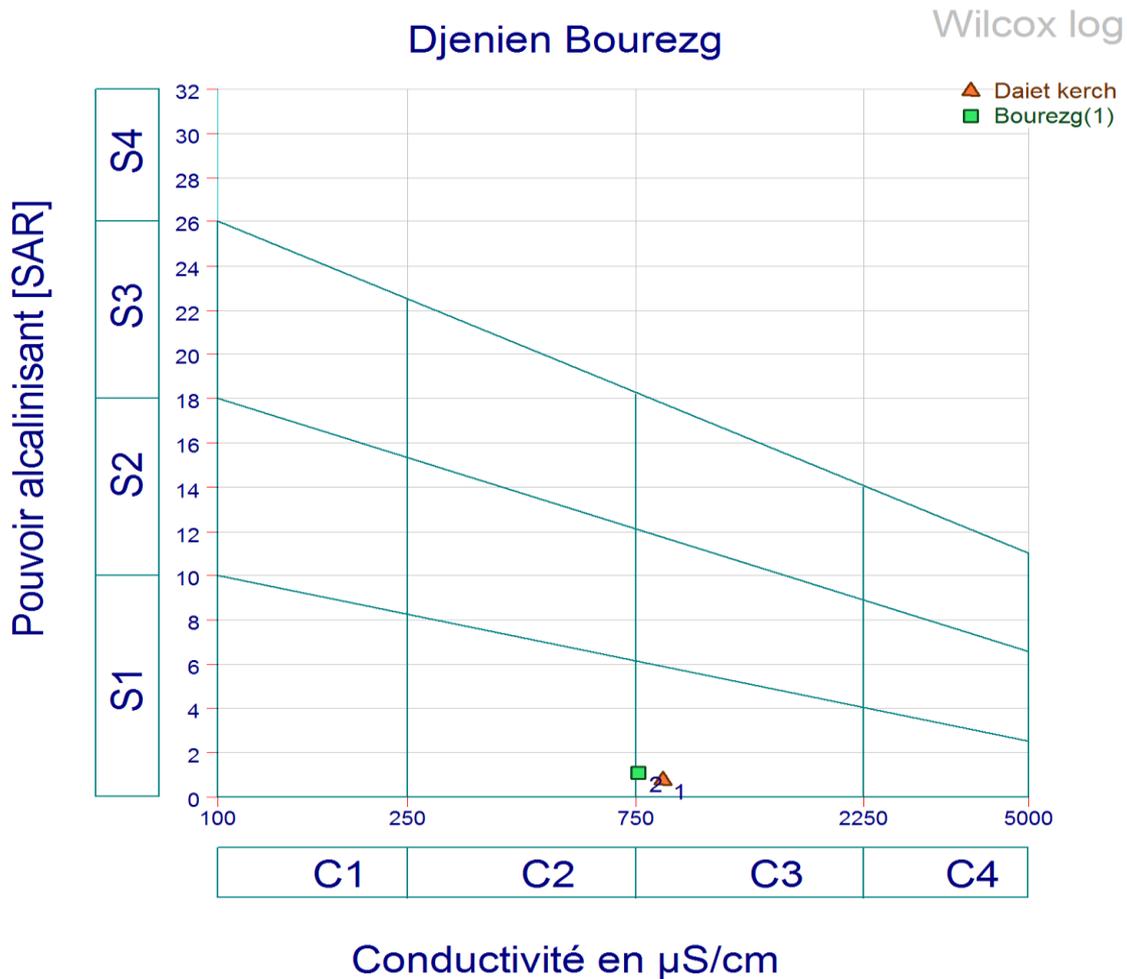


Fig.32 : Qualité des eaux d'irrigation par la méthode du S.A.R

Tableau.27: Classification des eaux destinées à l'irrigation d'après Wilcox

Degré	Qualité	Classe	Etat d'utilisation
1	Excellent	C1-S2	Eau utilisable sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures, sur la plupart du sol.
2	Bonne	C2-S1	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes au sel sur sols ayant une

		C2-S2	bonne perméabilité.
3	Admissible	C3-S1 C3-S2 C2-S3	En général, eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel sur des sols bien drainés, l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.
4	Médiocre	C4-S1 C4-S2 C3-S3	En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.
5	Mauvaise	C3-S4 C4-S3 C4-S4	Eau ne convenant généralement pas à l'irrigation mais pouvant être utilisée sous certaines conditions. Sols très perméables, bon lessivage, plantes tolérant très bien le sel.

D'après la figure.32, nous pouvons distinguer des eaux appartenant à la classe C3-S1 pour les eaux du forage Daiet kerch et celles du forage (Bourezg1). Nous pourrions alors dire que les eaux analysées conviennent en général à l'irrigation de cultures tolérantes au sel sur des sols bien drainés, l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.

## VI. REPRESENTATION GRAPHIQUES DES ANALYSES D'EAU

Il existe plusieurs classifications des faciès des eaux naturelles, nous distinguons deux critères fondamentaux de classification :

- La composition chimique.
- L'origine et le gisement des eaux.

Les principales classifications basées sur la composition chimique des eaux naturelles sont celles de Stabler – Sauline, Alkenine, Schoeller, Palmier et Piper, mais les plus utilisées sont celles de Piper et Schoeller- Berkallof.

### V.1- Diagramme de SCHOELLER–BERKALOFF :

C'est un diagramme semi logarithmique utilisé pour la représentation graphique des analyses chimiques des eaux, la classification tient compte de l'importance des principaux anions et cations et détermine le type de faciès des eaux.

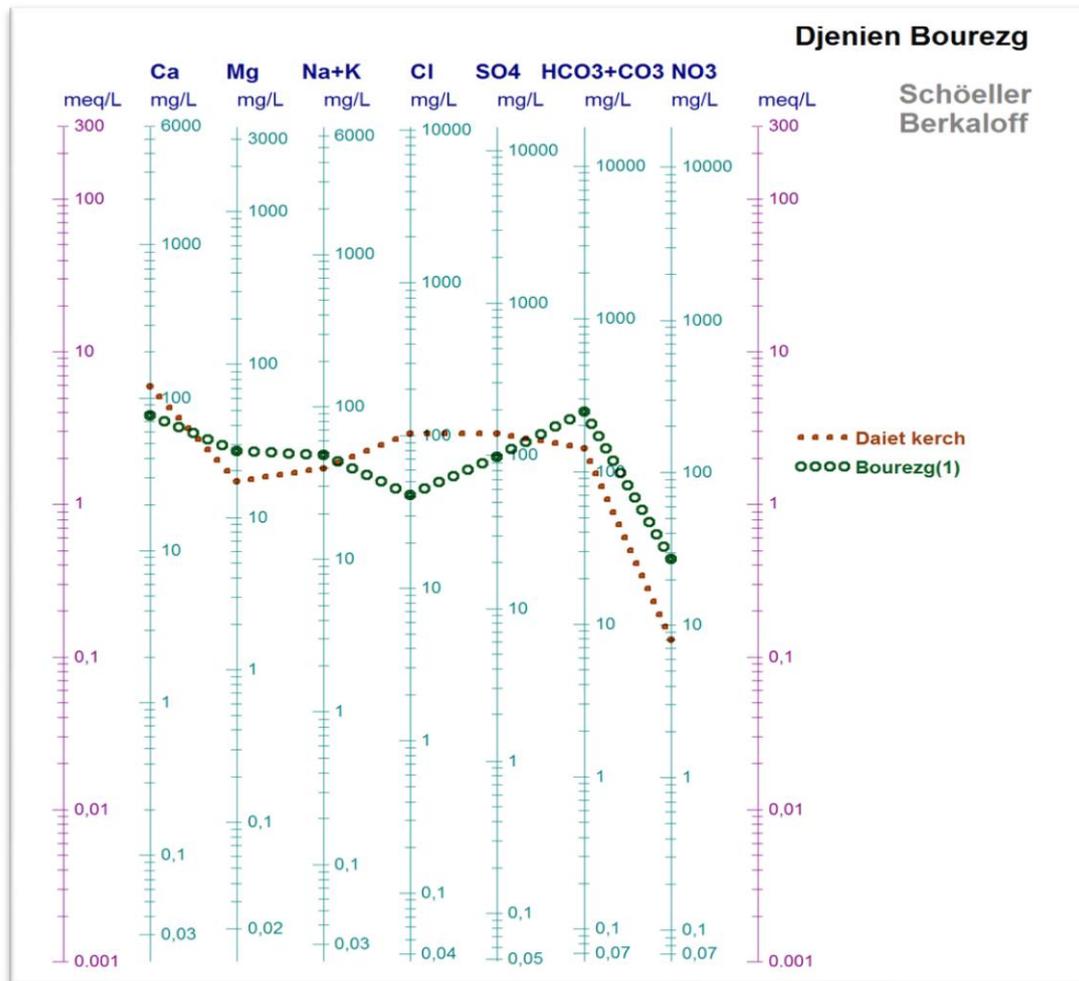
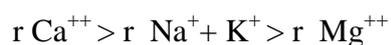


Fig.33 : Diagramme Schoeller –Berkaloff

La représentation des deux analyses chimiques effectuées sur les eaux de la nappe des grès du Crétacé inférieur de Djenien Bourezg sur le diagramme (Fig.34) permettent de distinguer deux types de faciès :

- Bicarbonaté calcique :

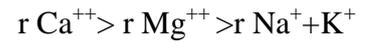
Ce faciès caractérise le forage de Djenien Bourezg(1) avec pour formule:



L'accroissement de la concentration en  $\text{Ca}^{2+}$  par rapport  $\text{Mg}^{+2}$  et  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  et  $\text{HCO}_3^-$  par rapport aux  $\text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{Cl}^-$  due à la dissolution de la calcite qui consomme de l'acide ( $\text{H}^+$ ) et produit des ions  $\text{Ca}^{2+}$  et bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ) rencontrées dans la région d'étude.

- Chloruré à Sulfatée calcique :

Ce faciès caractérise le forage de Daiet Kerch dont la formule est :



L'accroissement de la concentration en  $\text{Ca}^{2+}$  par rapport  $\text{Mg}^{+2}$  et  $\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$  et  $\text{SO}_4^{-2}$  par rapport aux et  $\text{HCO}_3^{-}$  est due à la dissolution du gypse localisés dans la région d'étude.

## V.2- Diagramme de PIPER

Le diagramme de Piper permet de représenter graphiquement le faciès hydrochimique. Il est composé de deux triangles représentant la répartition des anions et celles des cations, respectivement, et d'un losange représentant la répartition synthétique des ions majeurs. Dans ce losange, le pôle haut correspond à 100 % de sulfates et chlorures et 100 % de calcium et magnésium, le pôle bas représentant 100 % de carbonates et bicarbonates et 100% de sodium et potassium. Ainsi, dans ce diagramme, une eau bicarbonatée calcique serait située au pôle gauche du losange alors qu'une eau chlorurée sodique serait située au pôle droit. La superposition de plusieurs analyses sur un même diagramme permet de comparer leur faciès hydrochimiques

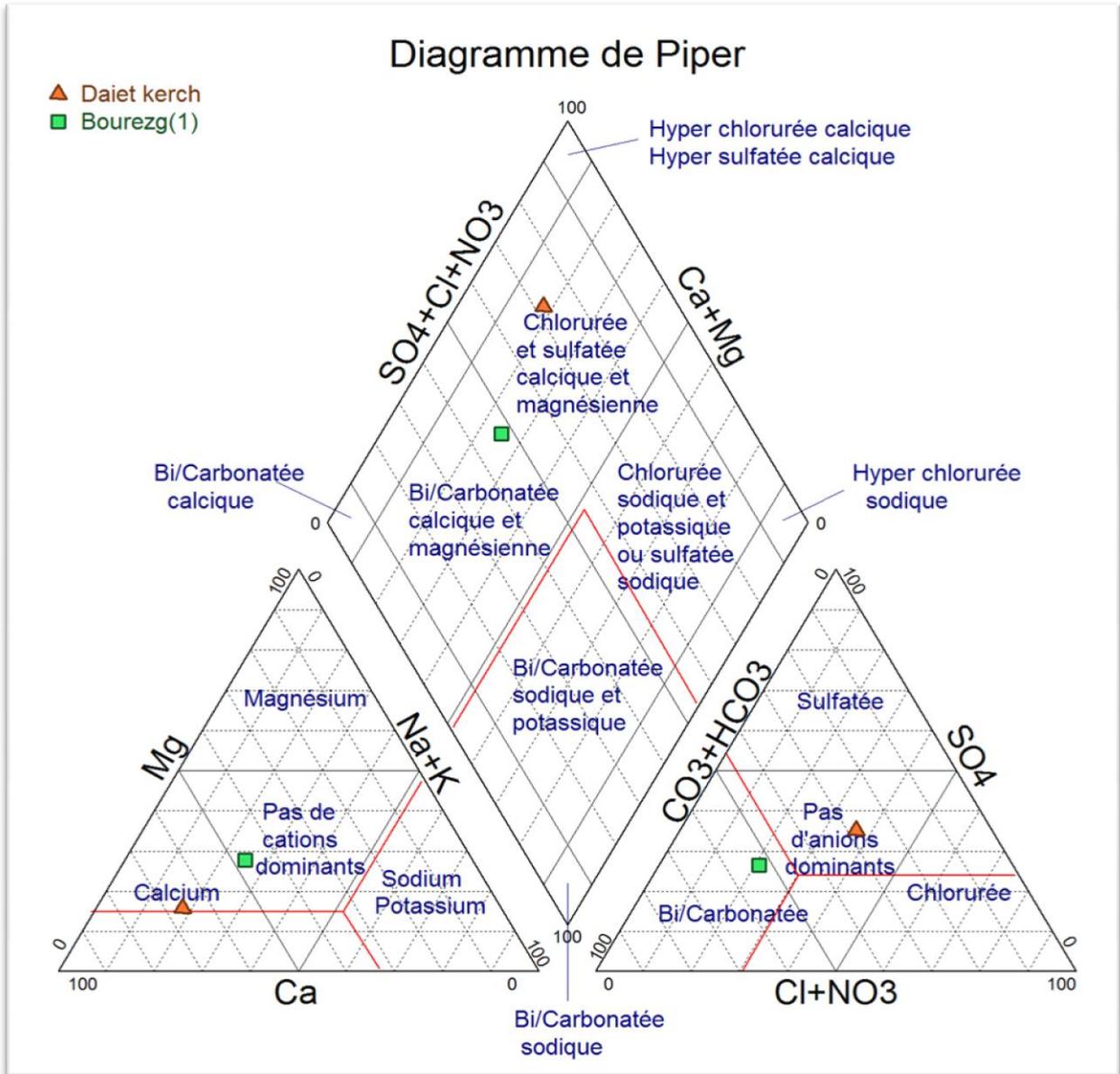


Fig.34 : Diagramme de Piper

La représentation des deux échantillons prélevés au niveau de la nappe des grès du Crétacé inférieur de Djenien Bourezg sur le diagramme (Fig.34), permettent de distinguer deux types de faciès :

- bicarbonaté calcique et magnésien.
- chloruré et sulfatée calcique et magnésien.

Finalement, on conclue que les eaux de la nappe du Crétacée inférieur de la région de Djenien Bourezg sont caractérisées par un pH neutre et conductivité moyenne à élevée.

- Les eaux sont généralement de bonne qualité et excellente pour l'irrigation.

Au terme de cette étude, nous avons dégagé une idée sur les caractéristiques hydrogéologiques du secteur d'étude. Ce secteur fait partie de l'atlas saharien occidental, il est caractérisé par une série de synclinaux et d'anticlinaux faillés, plus ou moins parallèles de direction générale Sud Ouest-Nord Est.

### **I. Sur le plan géologique :**

Dans le secteur d'étude, les données lithostratigraphiques mettent en évidence la présence d'une série s'étalant depuis le Mésozoïque jusqu'au Quaternaire.

- Les formations mésozoïques sont constituées par une série de grès roses à dragées de quartz attribuée à l'Albien.
- Le Tertiaire est constitué par des dépôts argilo-gréseux rouges.
- Le Quaternaire est représenté par des alluvions anciennes et formations tuffacées.

### **II. Sur le plan hydroclimatologique :**

L'étude climatique faisant intervenir les données de la station d'Ain Sefra sur une période allant de 1982/1983 à 2012/2013, a fait ressortir les résultats qui suivent :

- des précipitations moyennes annuelles de 166,2mm.
- Une température moyenne annuelle de 19,2C.

L'étude du climat a permis de constater que la région d'étude appartient à un régime désertique, éloignée des influences marines.

L'étude de l'évapotranspiration et du déficit d'écoulement a été faite par l'utilisation de différentes méthodes. Seule la méthode de Verdeil a donné des résultats plus proches de la réalité : un déficit égal à 161mm.

- La méthode de Thornthwaite ne s'adapte pas aux conditions climatiques réelles de la région d'étude, car elles donnent des réserves de sol nulles (et donc pas d'infiltration et pas d'écoulement). Cela ne reflète pas la réalité, il serait plus judicieux d'utiliser un pas de temps journalier ou événementiel qui traduit mieux le comportement hydrologique dans ce type de climat.

### **III. Sur le plan hydrogéologique :**

L'étude hydrogéologique nous a permis d'identifier les principaux aquifères de la région d'étude.

La piézométrie effectuée sur la nappe albienne du secteur d'étude montre deux sens d'écoulement : un écoulement vers le Sud-ouest, et le deuxième vers le Nord-ouest qui confluent vers le Ouest. Dans cette région les failles jouent un rôle très important dans le cheminement des eaux et l'émergence des sources.

L'interprétation des pompages d'essai à l'endroit du forage de Bourezg1 a permis d'estimer des transmisivités qui sont comprises entre  $6,17 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$  et  $9,15 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$  pour la région de Djenien Bourezg

#### **IV. Sur le plan hydrochimique :**

les eaux de la région répondent en général aux normes algériennes de potabilité sauf le forage de Hmadeu (F09).

Les diagrammes de Scholler-Berkaloff et Piper ont montré que les faciès de notre aquifère peuvent être subdivisé en deux faciès :

- bicarbonaté calcique et magnésien.
- chloruré et sulfatée calcique et magnésien.

Les valeurs du S.A.R sont relativement faibles, elles révèlent des résultats positifs pour l'irrigation (excellente qualité).

#### **RECOMMANDATIONS :**

La nappe de grés albien contient des potentialités importantes des ressources en eau de la nappe du Crétacé inférieur avec un débit moyen de 25 L/s. Grâce à sa situation géographique dans les Monts des Ksour

Au terme de cette étude, il nous à paru nécessaire de proposer des recommandations importantes:

Pour avoir des analyses hydrologiques et hydrogéologiques de la région, il serait souhaitable d'envisager de mettre en œuvre les travaux suivants :

- Pour une meilleure protection de la nappe il faut noter :

- Si le puits ou le forage présente un intérêt particulier ou collectif dans le cadre d'un réseau de surveillance, il pourra être équipé d'un piézomètre pour contrôler la nappe.
- Si le puits ne présente pas d'intérêt, un programme d'abandon sera proposé :
  - Toutes les installations à l'intérieur du forage seront démontées.
  - Le puits sera gravillonné dans toute la partie aquifère puis recouvert d'un lit de sable ou de produits gonflants d'étanchéités (argiles).

- Installation une station de jaugeage au niveau d'Oued R'mel pour mesurer les débits de crues périodiques.

- Un suivi organisé pour tous les points d'eau opérationnels existants afin d'éviter la surexploitation suivant une gestion rationnelle des eaux souterraines.

- **AIT DRIS.K et SELLAH.O (1995)** : Contribution hydrogéologique du synclinal de Naàma, Monts des Ksour (Atlas Saharien Occidental), Algérie. Mémoire d'ingénieur. Université d'Oran.
- **BASSOULET.J.P (1973)** : Contribution à l'étude stratigraphique du Mésozoïque de l'Atlas Saharien Occidental, Algérie. Thèse Fac sc. Paris.
- **BEKHEDDA.B (1992)** : Contribution hydrogéologique du synclinal de Beni Ounif Monts des Ksour (Atlas Saharien Occidental), Algérie. Mémoire d'ingénieur. Université d'Oran.
- **CASTANY G. (1982)**: Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Edition Dunod Paris.
- **CHAIR A. (2008)**: Contribution à l'étude hydrogéologique et hydrochimique du synclinal d'El Maader. Monts des Ksour (Atlas Saharien Occidental- Algérie-). Mém. Ing. Etat. Univ. Tlemcen.
- **CORNET.A (1952)** : L'Atlas Saharien Sud Oranaise XIX<sup>ème</sup> Cong.Géol Intern ;Alger. Monographie régionales.
- DOUIHASNI (1973)** : Etude géologique de la région de Ain Ouarka –Boussemgoun (partie central des monts des Ksour)
- **FILLALI.K (2011)** : Etude hydrogéologique du synclinal de Naàma (Monts des Ksour, Atlas Saharien Occidental), Algérie. Thèse Magister. Université d'Oran.
- **FLAMAND.G.B.M (1911)** : Recherche géologique et géographique sur le haut pays de l'Oranais et sur le Sahara (Algérie et territoire de Sud). Thèse Doctorat, Lyon.
- **GALMIER D. (1970)**: Photogéologie de la région d'Aïn Séfra (Algérie).Thèse Doctorat d'Etat. Faculté Sc. Paris.
- D.H.W.Naàma** : Données d'essais de pompage de forage Djenien Bourezg(1).
- KACEMI.A (2005)** : Cartographie et dynamique sédimentaire de la série fin Dogger début crétacée (Djara-Rhondjaia)des monts des Ksour (Atlas Saharien,Algérie), thèse de Magister, Université d'Oran.
- **KRADCHIL.B et MESBAHL.K (2001)** : Essais de synthèse cartographique de l'écoulement souterraine des synclinaux des Monts des Ksour (Atlas Saharien Occidental), Algérie. Mémoire d'ingénieur. Université d'Oran.
- **MAHBOUBI.M (1983)** : Etude géologique et paléontologique du Crétacé post-Aptien et du Tertiaires de la bordure méridionale du Dj Amour (Atlas Saharien Central), Algérie. Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle I.S.T, Oran.
- MEKAHLI L (1995)** : Evolution des monts des Ksour (Algérie) de l'Hettengien au Bajocien. Bio stratigraphie, sédimentologie, paléogéographie et séquentielle, Docum. Lab. Géol. Lyon. France. Doctorat d'état.
- **MEKKAOULB (1989)** : Contribution à l'étude hydrogéologique de la région de Naàma synclinal. Mémoire d'ingénieur. Université d'Oran.

- **RAHMANIA (1994)** : Contribution à l'étude hydrogéologique du synclinal « El Hendjir-Ain Sefra –Tiout » Monts des Ksour (Atlas Saharien occidental), Algérie. Mémoire d'ingénieur. Université d'Oran.
- RAHMANI A. (2010)**: Apport des S.I.G dans la caractérisation hydrodynamique et hydrochimique de la nappe du Crétacé inférieur de la région d'Aïn Séfra (Atlas saharien Occidental).Mém. Magister. Univ. Tlemcen.
- **ROBERT P. CHAPUIS (2007)** : Guide des essais de pompages et leurs interprétations.
- BAGHDADI.B (2007)** : Etude de la révision du PDAU de la commune de Djeniene Bourezg
- BOUTKHIL S &FARIDA (2004)** : Etude hydrogéologique de la dépression TIRKOUNT-MEKALIS (deux campagne piézométriques) .Mémoire d'ingénieur. Tlemcen
- DERDOUR A., (2006)** : Contribution à l'étude hydrogéologique et hydrochimique du synclinal des grès crétacé d'El Henjir Monts des Ksour (Atlas Saharien Occidental), Algérie. Mémoire d'ingénieur. Tlemcen.
- MANSOUR.H (2007)** : Hydrogéologie du Continental Intercalaire et du Complexe Terminal en domaine aride. Exemple des Monts des Ksour (Atlas Saharien Occidental), Algérie. Thèse Doctorat d'état, Oran.
- RODIER J. (1984)** : Analyse de l'eau, Ed. Dunod .Paris.
- ZENAGUI N. (2008)** : Caractérisation hydrodynamique et hydrochimique de la nappe du Crétacé Inférieur de la région "d'Ain Sefra " (Monts des Ksour-Atlas saharien Occidental).Mémoire d'ingénieur.
- SERVANT J (1975)** : Classification des eaux d'irrigation, u.s salinity LAB.
- www.tutiempo.org**

## LISTES DES FIGURES

- Fig. N° 01 :** Situation géographique des Monts des Ksour.
- Fig. N°02 :** Principaux reliefs des Monts des Ksour et localisation des coupes  
(A. Kacemi ,2005).
- Fig. N°03:** Cadre géographique du secteur d'étude.
- Fig. N°04:** Réseau hydrographique de secteur étude (Extrait de la carte topographique  
1/250.000).
- Fig.N°05:** Coupe Lithostratigraphique des formations du Lias et Dogger dans  
centrale des Monts des Ksour (AIN SEFRA). (DOUIHASSNI, 1976).
- Fig. N°06 :** Coupe Lithostratigraphique des formations du Jurassique – Crétacé Dans la  
Partie centrale des Monts des Ksour (A.Kacemi,2002).
- Fig. N°07 :** Coupe lithostratigraphique de Safret el Djir (A.Kacemi, 2005).
- Fig. N°08 :** Grandes coupures tectoniques des Monts des Ksour (Mekahli, 1998).
- Fig. N°09:** Carte photo géologique du secteur d'étude (D.GALMIER 1979).
- Fig. N°10 :** Variation des précipitations moyennes annuelles de la station d'Ain Sefra
- Fig. N°11 :** Variation des précipitations moyennes mensuelles de la station d'Ain Sefra
- Fig. N°12 :** Variation des précipitations moyennes saisonnières de la station d'Ain Sefra
- Fig. N°13 :** Variation des températures moyennes mensuelles de la station d'Ain Sefra.
- Fig. N°14 :** Variation des températures moyennes annuelles de la station d'Ain Sefra.
- Fig. N°15 :** Diagramme pluviométrique de la station d'Ain Sefra.
- Fig. N°16 :** Diagramme ombrothermique de la station d'Ain Sefra.
- Fig. N°17:** Abaque pour le calcul de l'indice d'aridité annuel de Martonne.
- Fig. N°18 :** Climagramme d'Emberger.
- Fig. N°19:** Evaluation du déficit d'écoulement d'après WUNDT
- Fig. N°20:** Abaque de VERDEIL (1988)

**Fig. N°21:** Carte piézométrique de la cuvette synclinal de Djenien Bourezg et Moghrar (H. Mansour 2007).

**Fig. N°22 :** Carte d'inventaire des points d'eau (Extrait de la carte topographique 1/250.000).

**Fig. N°23 :** Carte piézométrie du secteur d'étude.

**Fig. N°24 :** Courbe caractéristique  $S=f(q)$

**Fig. N°25:** Droite débit spécifique - rabattement.

**Fig. N°26 :** Droite débit - rabattement spécifique

**Fig. N°27:** Courbe de descente forage Bourezg (01)..

**Fig. N°28 :** Courbe de remontée forage Bourezg (01). .

**Fig. N°29 :** Evolution du pH des eaux de la région d'étude.

**Fig. N°30 :** Evolution de la conductivité électrique des eaux de la région d'étude.

**Fig. N°31:** Carte d'iso-teneurs de la minéralisation en (mg/L)

**Fig. N°32 :** Qualité des eaux d'irrigation S.A.R

**Fig. N°33:** Diagramme Schoeller –Berkaloff

**Fig. N°34:** Diagramme de Piper

## LISTES DES TABLEAUX.

- **Tableau N°01** : Caractéristiques de la station météorologique d'Ain Séfra.
- **Tableau N°02** : Valeurs des précipitations moyennes mensuelles.
- **Tableau N°03** : Valeurs des précipitations saisonnières.
- **Tableau N°04** : Valeurs moyennes mensuelles des températures.
- **Tableau N°05** : Précipitations et températures mensuelles.
- **Tableau N°06** : Rapport P/T.
- **Tableau N°07** : Valeurs d'indices d'aridité mensuelles.
- **Tableau N°08** : Valeurs d'indices de Moral mensuelles.
- **Tableau N°09** : Types de climats selon Moral.
- **Tableau N°10** : Valeurs de  $\ast i \ast$ .
- **Tableau N°11** : Valeurs d'ETP.
- **Tableau N°12** : les éléments du bilan.
- **Tableau N°13** : Essai de pompage par palier dans le forage Djeniene Bourezg 1.
- **Tableau N°14** : Calcul du débit spécifique.
- **Tableau N°15** : Calcul des rabattements spécifique.
- **Tableau N°16** : Calcul des pertes de charge.
- **Tableau N°17** : Détermination de la balance ionique.
- **Tableau N°18** : Classification des milieux des eaux naturelles par rapport au pH
- **Tableau N°19** : Relation entre la conductivité et la minéralisation.
- **Tableau N°20** : Calcul de la minéralisation à partir de la conductivité.
- **Tableau N°21** : Les résultats de calcul de la minéralisation.
- **Tableau N°22**: Classification de la minéralisation du secteur d'étude.
- **Tableau N°23**: Potabilité des eaux selon les normes algériennes de potabilité.
- **Tableau N°24** : Potabilité en fonction de la dureté
- **Tableau N°25**: Classification de la qualité d'eau dans la région à partir de la dureté totale.
- **Tableau N°26** : Valeurs du SAR et la qualité de l'eau pour les deux points d'eau.
- **Tableau N°27** : Classification des eaux destinées à l'irrigation d'après Wilcox.

## LISTE DES ABREVIATIONS

**A.N.R.H** : Agence National Ressources Hydraulique.

**C.E.E** : Communauté Economique Européenne

**Ca<sup>2+</sup>**: calcium

**Cl<sup>-</sup>**:Chlorure

**ETP** :Evapotranspiration potentielle

**ETR** :Evapotranspiration réelle

**h** : Heure

**HCO<sup>3-</sup>**: Bicarbonate

**K<sup>+</sup>**: Potassium

**L** :litre

**m**: mètre

**Mg<sup>2+</sup>**: Magnesium

**mm**: millimetre

**Mn** : minute

**Na<sup>+</sup>**: Sodium

**O.M.S** : l'organisation mondiale de la santé.

**PH** : Potentiels d'hydrogène.

**PM**:précipitations maximal

**Pm**: précipitations minimale

**S** : seconde

**S.A.R**: Sodium adsorption ratio

**S.A.R**: Sodium adsorption ratio

**SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>**:sulfate

**TH**:Dureté total.

**TH**:Dureté total.

**TM**: Temperature maxima

**Tm**: Temperature minoma

Des données

Station : Ain Sefra

Latitude : 32.76 N

Altitude : 1058 m

Indicatif : 60560

Longitude :00.60W

Période :1982-2013

**TABLEAU (A) : Valeurs des précipitations moyennes annuelles et mensuelles**

Année /mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AUT	Total
1982-1983	2,5	4,1	11,7	0,3	0	5,3	1	1	25,2	0	0	0	51,1
1983-1984	0,5	1	0	0	1,3	3,8	3,6	0	28,5	1,5	3,1	0	43,2
1984-1985	1	0	17	0	8,1	0	6,1	0	2	0	0	2	36,3
1985-1986	18	21,4	1,3	32	1,3	7,1	11,2	0	10,4	5,1	0,5	2,8	111
1986-1987	36,3	58,7	38,1	1	0	3,3	15	1	5,1	2,8	4,1	9,7	175
1987-1988	0,3	8,1	16	8,9	8,1	27,4	9,9	1	14	8,9	7,8	0	110,4
1988-1989	4,1	10,2	11,9	0	32	6,1	23,9	16,5	24,1	11,4	2	23,1	165,3
1989-1990	6,4	10,4	13,5	2	17,3	0	2	18,5	171,7	4,1	9,2	3,3	258,3
1990-1991	10,2	1	3,3	7,9	1,5	49	183,4	23,4	25,9	39,1	3,3	3,3	351,3
1991-1992	6,1	29,5	0,3	12,2	3,1	5,1	10,4	5,1	34	0,3	9,1	4,1	119,2
1992-1993	0	0	19,1	1	6,1	32	51,3	3,1	5,1	4,6	1	1	124,3
1993-1994	10,9	6,1	66	3,3	19,1	3,1	18,1	0	1	3,1	1	2	133,7
1994-1995	54,4	46,7	13	0	2	3,6	39,1	27,2	1	31	0	4,1	222
1995-1996	10,9	38,1	0	6,1	11,2	8,1	43,7	6,1	5,6	28,4	12,4	2	172,8
1996-1997	2	3,6	0	25,7	11,4	0	5,1	46,8	3,6	0	0	26,7	124,8
1997-1998	12,2	1	4,1	2	3,3	69,4	4,1	5,1	13,5	0,0	0,0	1,3	115,9
1998-1999	25,9	7,1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	34,1
1999-2000	0	3,1	6,6	3,6	4,1	0	1	2	4,1	3,1	0	1	28,5
2000-2001	189,2	9,4	0	0,8	4,1	18,5	0	2	0	0	0	12,7	236,8
2001-2002	9,2	16,3	11,9	7,4	0	8,1	2,6	22,4	1,5	4,1	9,7	41,7	134,7
2002-2003	10,7	18,6	35,1	7,1	19,6	11,7	25,2	7,9	14	1	6,1	3,3	160,1
2003-2004	13,2	48	30,5	4,1	0,5	14	24,1	13,5	18,8	25,9	1,5	9,4	203,5
2004-2005	4,1	3,1	24,9	14,2	6,1	2	4,1	0	0	4,6	0	28,7	91,7
2005-2006	25,2	39,1	0	8,1	14,7	10,9	5,3	11,2	42,2	0,5	1	3,1	161,3
2006-2007	25,4	6,1	22,1	15,8	0	7,1	3,1	38,4	3,1	0	3,1	31	155
2007-2008	6,1	171,2	5,8	10,4	9,1	22,6	3,3	1	37,1	6,6	12,5	16,3	302,1
2008-2009	34	249,4	15,2	10,2	33,8	17	55,1	16,5	4,1	6,4	3,8	3,1	448,6
2009-2010	84,3	0	0	0,5	12,2	31,8	15,2	0,3	7,9	13	8,1	43,7	216,9
2010-2011	35,1	34,8	2	3,6	2,0	0	14,5	22,1	56,1	36,3	1,5	4,3	212,4
2011-2012	18	28,2	34	10,2	17,8	8,1	44	61	3,1	1	3,1	2,6	230,9
2012-2013	16,8	48,8	80	12,2	14,5	3,1	23,1	0,8	1	1,3	15,7	3,1	220,2
Moyenne M	21,7	29,8	15,6	6,8	8,5	12,2	20,9	11,4	18,2	7,9	3,9	9,3	166,2

Recueil des données  
 Station : Ain Sefra  
 Latitude : 32 .76 N  
 Altitude : 1058 m

**Indicatif** : 60560  
**Longitude** : 00.60 W  
**Période** : 1982-2013

**TABLEAU (B)** : Valeurs des températures moyennes mensuelles et annuelles

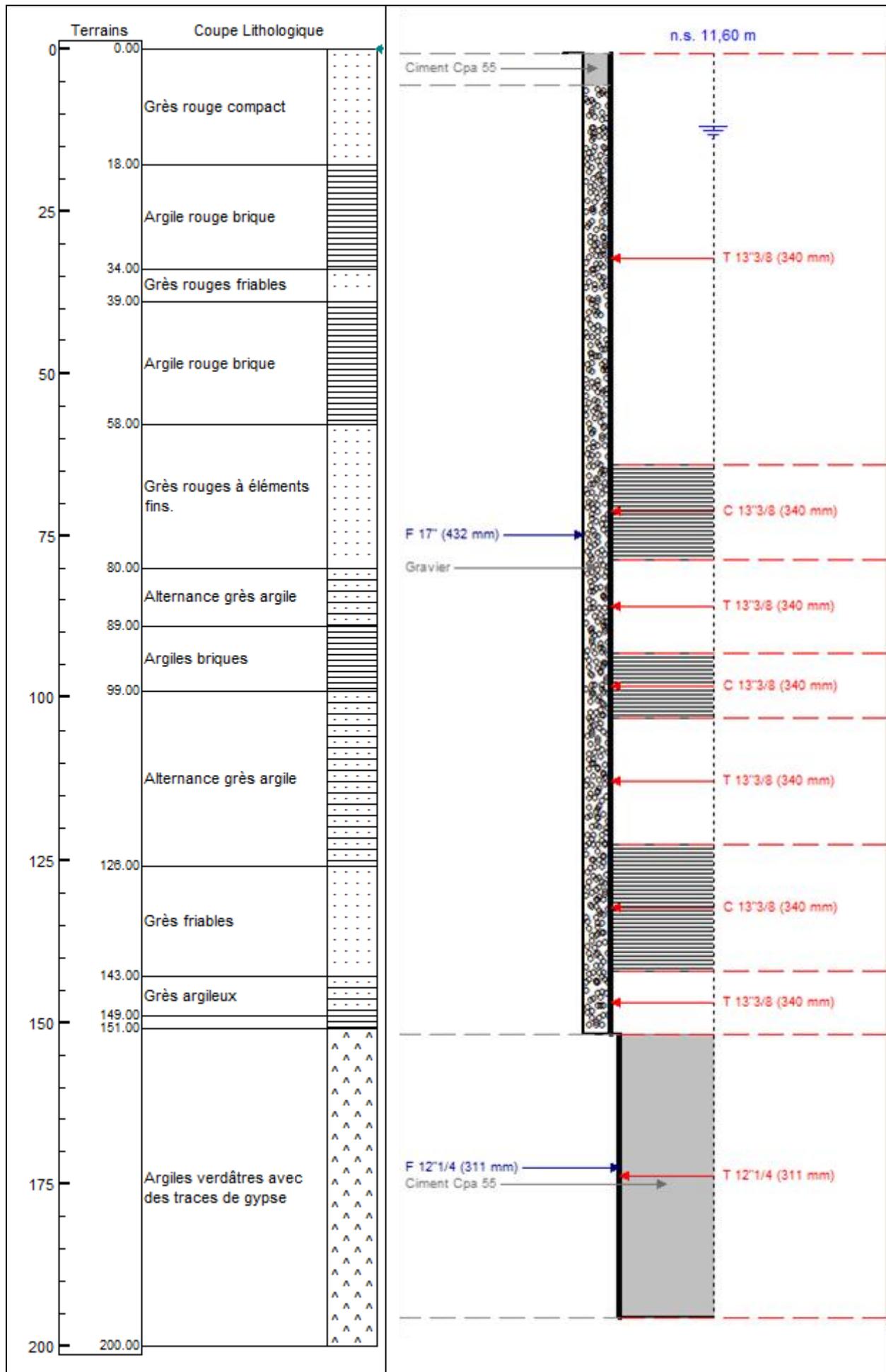
Année /mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AUT	MOY
1982-1983	25,6	17,9	11,8	7	7,6	11,1	15,5	18,7	21,9	28,3	31,5	28,8	18,8
1983-1984	23,9	19,2	14,5	7,5	7,8	9,4	12,6	20	17,4	27,7	31,6	30,2	18,5
1984-1985	26,7	17,6	12,4	9,4	8,2	13,9	10,9	18	19,8	29,2	32,1	30,2	19,0
1985-1986	25,2	19	15,1	8,3	7,9	11,1	12	15	24,2	26,3	31	30,8	18,8
1986-1987	25,8	17,7	11,1	7,9	8,9	10,4	15	20,7	22,2	24,4	29,9	30,8	18,7
1987-1988	27	20,9	12,4	11,6	9,8	10,1	13,9	18,5	22,3	26,6	31,6	31,8	19,7
1988-1989	25,3	19,4	13,9	7,2	5,8	9,7	14	15,8	21,7	23,4	30,8	29,3	18,0
1989-1990	26,2	19,8	14,5	12	6,9	12,5	15,8	16,3	18,7	29,8	30,9	29,8	19,4
1990-1991	27,7	20,7	13,4	9,8	7,2	8,3	11,7	15,2	18,9	26,5	30,8	30,1	18,4
1991-1992	26,2	16,6	12,7	7,9	6,4	9,7	10,9	16,5	20,7	23,2	28,7	29,1	17,4
1992-1993	25,8	18,5	11,6	9,2	6,7	8,6	12,4	16,6	21,7	28,8	31,8	30,4	18,5
1993-1994	24,4	19,2	12	8,6	8,6	13,1	13	14,9	24,3	29,2	31,8	31,2	19,2
1994-1995	24,2	18,3	13,3	10	8,2	12,2	12,1	14,3	23,9	27	30,8	29,9	19,1
1995-1996	23,8	18,6	15,1	11,3	10,9	9,2	13	16,8	20,8	25,2	29,9	30,6	18,9
1996-1997	23,8	18,7	13,4	9,7	9,8	12,3	14,3	16	22,4	28	32	28,6	19,1
1997-1998	25	19,9	14,4	10,2	8,8	10,6	14,3	17,9	20,4	26,6	33	30,7	19,3
1998-1999	27,7	18,1	14,4	8	7,5	8,1	13	19,5	25	29,9	32,2	32,3	19,6
1999-2000	26,6	22,1	11	8	5,6	11,6	15,5	18	23	27,1	32,5	30	19,3
2000-2001	25,2	16,9	14,4	11,2	9,5	10	18,1	18,6	22,2	30,2	33	31,2	19,1
2001-2002	26,6	23,1	11,6	10	8,3	12	14,9	17	21,8	29	31,4	29,7	19,6
2002-2003	25,4	20	14	11	8,3	9,4	15,4	18,9	22,8	30,2	33	29,9	19,9
2003-2004	26,2	20,9	12,2	9,1	9,3	11,4	15,1	17,2	18,8	28,5	31,7	31,2	19,3
2004-2005	25,6	21,8	11,1	7,6	5,7	7,2	16	19,9	26,5	29	33,5	30,9	19,6
2005-2006	24,9	20,6	18,6	7,9	5,5	9,2	16	20,4	24,1	28,9	32,2	31,3	20,0
2006-2007	24	21,7	14	8,2	9,1	12,8	12,3	16,3	22,2	28,8	32,2	30,9	19,4
2007-2008	26,9	19	13,3	8,2	9,2	11,3	14,3	19,2	22,1	28	32,7	31,4	19,6
2008-2009	24,1	16,6	10,6	7,3	7,5	10	14,1	15	23,1	28,6	32,8	31,7	18,5
2009-2010	21,9	20,7	14,4	12,7	10,8	14,2	16,2	20,7	21,6	27,5	33	31,1	20,4
2010-2011	26	19,2	14,4	11,6	9,8	9,2	13	20,1	21,7	26,7	31,8	31,5	19,6
2011-2012	27,9	18,8	12,8	8,3	7,2	6,2	13,3	15,8	24,7	31,1	33,2	32,2	19,3
2012-2013	26,4	20,7	14,4	9,7	9,3	9,6	15	18,4	21,2	27,2	32	30,5	19,5
<b>MOY</b>	24,9	19,85	14,6	9,85	8,2	10,2	14,5	17,8	21,95	27,15	31,1	30,45	<b>19,2</b>
<b>maxima Tx</b>	27,9	23,1	18,6	12,7	10,9	14,2	18,1	20,7	26,5	31,1	33,5	32,3	
<b>minima Tm</b>	21,9	16,6	10,6	7	5,5	6,2	10,9	14,9	17,4	23,2	28,7	28,6	
<b>(Tm+Tx) /2</b>	24,9	19,85	14,6	9,85	8,2	10,2	14,5	17,8	21,95	27,15	31,1	30,45	

**TABLEAU –C- :Bilan hydrologique selon Thornthwaite**

<b>Mois</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>D</b>	<b>J</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>Jt</b>	<b>A</b>	<b>Annuel</b>
Température(°c)	24,9	19,8	14,6	9,8	8,2	10,2	14,5	17,8	21,9	27,1	31,1	30,4	19,2
i	11,37	8,03	5,07	2,77	2,11	2,94	5,01	6,84	9,36	12,92	15,91	15,38	97,71
ETP N C (cm)	10,99	6,85	3,66	1,61	1,12	1,75	3,61	5,50	8,44	13,08	17,38	16,58	90,57
ETP N C (mm)	109,9	68,5	36,6	16,1	11,2	17,5	36,1	55,0	84,4	130,8	173,8	165,8	905,65
K	1,03	0,98	0,88	0,87	0,89	0,86	1,03	1,08	1,19	1,19	1,21	1,15	12,36
ETP C	113,20	67,17	32,20	14,01	9,92	15,03	37,16	59,45	100,39	155,71	210,24	190,66	1005,16
Variation de réserve(mm)	-91,50	-37,37	-16,60	-7,21	-1,42	-2,83	-16,26	-48,05	-82,19	-147,81	-206,34	-181,36	-838,96
Réserve d'eau utile(mmà)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ETR (mm)	21,7	29,8	15,6	6,8	8,5	12,2	20,9	11,4	18,2	7,9	3,9	9,3	166,2
Déficit (mm)	91,50	37,37	16,60	7,21	1,42	2,83	16,26	48,05	82,19	147,81	206,34	181,36	838,96
Excédent (mmà)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Écoulement (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Coef d'humidité P-ETP/ETP	20,7	28,8	14,6	5,8	7,5	11,2	19,9	10,4	17,2	6,9	2,9	8,3	165,2

**TABLEAU(D):** Résultat du campagne piézométrique

<b>FORAGE</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>N.S (m)</b>	<b>N p (m)</b>
Mssili(01)	704553	3583532	999	08	991
Mssili(02)	704137	3583255	1001	10.5	990,5
Touhami	704333	3583647	997	23	974
Hadj Issa(01)	702796	3582216	984	07	977
Allouani	702308	3581795	989	07	982
Bouafia (01)	708545	3586950	1028	11	1017
Bouafia (02)	708542	3586984	1028	11	1017
Dahnoun	708791	3587177	1034	06	1028
Hadou	708956	3587294	1054	06	1048
Bentaleb( 01)	707347	3585070	1026	14	1012
Bentaleb( 02)	707165	3585173	1019	16	1003
Bourezg(01)	707110	3583571	1020	22	998
F13	709119	3587488	1042	5.6	1036,4



**Annexe E : Coupe technique du forage « Djenien Bourezg (1) »**

**TABLEAU (F) : Essai de pompage longue durée dans forage Djenien Bourezg (1)  
(Descente)**

**Niveau statique=11.6m (Débit=25L/S)**

<b>t (mn)</b>	<b>Niveau dynamique (m)</b>	<b>Rabatement (m)</b>
1	20,50	8,90
2	25,08	13,48
3	27,70	16,10
4	29,91	18,31
5	31,35	19,75
6	32,55	20,95
7	33,20	21,60
8	33,80	22,20
9	34,27	22,67
10	34,65	23,05
11	35,07	23,47
12	35,32	23,72
13	25,58	13,98
14	35,78	24,18
15	35,99	24,39
17	36,30	24,70
19	36,65	25,05
21	37,00	25,40
23	37,29	25,69
25	37,52	25,92
27	37,70	26,10
29	38,00	26,40
31	38,20	26,60
33	38,62	27,02
35	38,84	27,24
40	39,06	27,46
45	39,40	27,80
50	39,87	28,27
55	40,18	28,58
60	40,18	28,58
65	40,57	28,97
70	40,82	29,22
75	41,10	29,50
80	41,53	29,93
85	41,67	30,07
90	42,00	30,40
95	42,15	30,55
100	42,26	30,66
110	42,52	30,92
115	42,58	30,98
120	42,78	31,18
130	43,12	31,52
140	43,20	31,60
150	43,39	31,79
160	43,42	31,82
170	43,47	31,87

180	43,49	31,89
240	43,52	31,92
360	43,55	31,95
660	43,59	31,99
720	43,78	32,18
780	43,86	32,26
900	43,85	32,25
1020	43,74	32,14
1140	43,90	32,30
1320	43,91	32,31
1500	43,93	32,33
1680	43,97	32,37
1860	43,85	32,25
2040	43,87	32,27
2220	43,82	32,22
2400	43,80	32,20
2640	43,95	32,35
2880	43,80	32,20
3120	43,94	32,34
3360	43,97	32,37
3600	43,80	32,20
3840	43,95	32,35
4080	43,90	32,30
4320	43,95	32,35

**TABLEAU (G) : Essai de pompage long duré dans forage Djenien Bourezg (1)  
(Remonté)**

<b>t (mn)</b>	<b>Niveau dynamique (m)</b>	<b>Rabattement(m)</b>
1	35,15	23,55
2	31,12	19,52
3	26,09	14,49
4	22,73	11,13
5	21,82	10,22
6	19,30	7,70
7	17,95	6,35
8	17,28	5,68
9	16,82	5,22
10	16,46	4,86
11	16,21	4,61
12	16,00	4,40
13	15,82	4,22
14	15,65	4,05
15	15,49	3,89
17	15,23	3,63
19	15,08	3,48
21	15,03	3,43
23	14,88	3,28
25	14,77	3,17
27	14,51	2,91
29	14,48	2,88
31	14,33	2,73
33	14,23	2,63
35	14,12	2,52
40	13,89	2,29
45	13,72	2,12
50	13,49	1,89
55	13,31	1,71
60	13,16	1,56
65	13,70	2,10
70	12,94	1,34
75	12,85	1,25
80	12,79	1,19
85	12,71	1,11
90	12,63	1,03
95	12,56	0,96
100	12,50	0,90
110	12,37	0,77
115	12,30	0,70
120	12,25	0,65
130	12,15	0,55
140	12,08	0,48
150	12,05	0,45

160	12,02	0,42
170	11,97	0,37
180	11,93	0,33
240	11,74	0,14
360	11,60	0,00

Palier	Rabattement (m)	Q (l/s)
1er	16,25	54
2eme	22,1	72
3eme	30,3	90
4eme	44,6	108

Nom de forage	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	R.S
Daiet kerch	119	17	34	5	102	138	141	8	621
Bourezg 01	76	27	44	4	41	97	246	27	660

**Tableau (H):** Résultats d'analyses chimiques.

